

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**  
**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 – 2017**

**СБОРНИК ТРУДОВ**  
**X научно-практической конференции**  
**студентов и аспирантов**  
**5-7 декабря 2017 г.**

**Том II**

**Иркутск – 2017**

ББК 052-01  
УДК 629.7  
А-43

### **Редакционная коллегия**

Ответственный редактор	Скрыпник Олег Николаевич, зам. директора Иркутского филиала МГТУ ГА по УНР, д.т.н., профессор.
Члены редколлегии	Е. Н. Волосов, декан факультета СТ, д.и.н., доцент; С. Н. Кузнецов, и.о. декана факультета ЭЛА, к.т.н., доцент; С. В. Мишин, декан факультета АСК, к.т.н., доцент Б. В. Лежанкин, заведующий кафедрой АРЭО, к.т.н., доцент; В. М. Попов, заведующий кафедрой АЭС и ПНК, к.т.н., доцент; В. З. Чокрой, доцент кафедры ЛА и Д, к.т.н., доцент; М. И. Скулина, начальник отдела РИ и НР; Л. Н. Хапилина, редактор; А. Ф. Елагина, специалист по УМР отдела РИ и НР.

Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2017. Сборник трудов X научно-практической конференции студентов и аспирантов (5–7 декабря 2017 г): в 2-х т. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2017. – Т. II – 246 с.

ISBN 978-5-9500497-2-9

В сборнике представлены доклады X научно-практической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2017», заявленные в рамках работы секций «Летательные аппараты, авиационные двигатели и методы их эксплуатации», «Современные проблемы управления и экономики на транспорте».

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

*Сборник издается в авторской редакции.*

ISBN 978-5-9500497-2-9

## Содержание

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

<b>Жданов А. Д., Зиновьев В. С., Трофимов Л. М.</b> Современные материалы для планера летательных аппаратов.....	7
<b>Попельнюк И. А., Гареев А. М.</b> Применение структурного подхода к синтезу образов технического состояния рабочих жидкостей авиационных гидросистем.....	14
<b>Хвощев С. О., Азнагулов Т. Р., Санчугов В. И.</b> Очистка внутренней поверхности резиновых рукавов.....	21
<b>Хоришко Р. А., Исаев А. И.</b> Лопаточное фронтное устройство импульсной камеры сгорания.....	25
<b>Бобин П. Н., Лапаев А. В.</b> Анализ видов ремонта композиционных панелей летательных аппаратов.	30
<b>Бекишев А. С., Ладоба Д. С., Караваев Ю. А.</b> Информационная поддержка экипажа на этапе локализации отказов в полете.....	36
<b>Говоров Е. С., Загородных И. Г., Петров А. В., Головнева Т. И.</b> Изменение диэлектрической и магнитной проницаемости радиопоглощающих покрытий.....	43
<b>Лукасов В. В., Огородникова Ю. В., Никушкин Н. В.</b> Использование функции распределения в определении надёжности авиационной техники в период эксплуатации.....	49
<b>Ильичев А. И., Бурнашев В. Е.</b> Эксплуатация летательных аппаратов и авиационных двигателей в условиях Крайнего Севера: на примере АН-74-200.....	54

<b>Дроков В. Вл., Калошин А. Е., Мурыщенко В. В., Дроков В. Г.</b> Оценка возможности разработки статмодели эталонного двигателя ПД-14 по результатам измерения параметров частиц на СВЧ-плазменном анализаторе.....	60
<b>Еохин О. А., Ли А. В., Мартышкин А. В., Чоккой В. З.</b> Инструменты многоаспектной оценки надежности объектов авиатранспортных систем.....	68
<b>Хоришко Р. А., Федюков В. В., Ходецкий С. А.</b> Форсирование мощности вертолетного двигателя.....	77
<b>Федюков В. В., Горшенин Д. С., Ходецкий С. А.</b> К вопросу расчета критических частот вращения вала узла межвального подшипника.....	83
<b>Никитюк И. А., Барсуков А. Г.</b> Применение инструментов контроля качества для анализа безопасности полетов.....	89
<b>Батраков И. А., Зиненков Ю. В.</b> Проблемы в области создания электрических силовых установок для беспилотных летательных аппаратов.....	96
<b>Дроков В. Вл., Мурыщенко В. В., Мухутдинов, Ф. И., Скудаев Ю. Д., Халиуллин В. Ф., Дроков В. Г.</b> Разработка технологии диагностирования узлов трения, омываемых смазочным маслом, авиационных газотрубинных двигателей по результатам анализа пробы смыва с диагностического слоя фильтроэлемента.....	100
<b>Пушкарев А. Ю., Гончаров Д. В., Леденева И. В.</b> Разработка методики определения оптимальных сроков замены масел в силовых установках летательных аппаратов.....	109
<b>Куликов А. С., Загородных И. Г., Головнева Т. И.</b> Загрязнение околоаэродромных территорий.....	115
<b>Киренчев А. Г., Бильдаков Е. М., Даниленко Н. В.</b> Математическое моделирование стоковых техногенных вихрей кориолисовой силы у подстилающей поверхности аэродрома.....	120

<b>Ландихов А. М., Разинкин М. А., Алексеев А. А.</b> Исследование эффективности управления течением в радиальных зазорах рабочих колес осевых компрессоров с применением программного комплекса ANSYS.....	127
<b>Павлинский Г. В., Сеницкая А. В., Ходунаев А. Ю., Дроков В. Г.</b> Применение рентгенофлуоресцентного анализатора «ФОКУС-2» для оценки параметров частиц изнашивания в пробах масла газотурбинных авиационных двигателей.....	131
<b>Татаринцев А. А., Луценко А. С., Леденева И. В.</b> Разработка новой полифункциональной присадки к авиационным маслам.....	141
<b>Батов И. А., Зиненков Ю. В.</b> Силовые установки нового поколения для беспилотных летательных аппаратов.....	147
<b>Зиялtdинов Ш. Р., Мухаметзянов Н. В., Лиманский А. С.</b> Использование тепловой энергии турбовальных ГТД на испытательных станциях.....	150

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

<b>Соловьева А. В., Вишнякова А. А.</b> Принципы использования компетентностного подхода в системе работы с авиаперсоналом .....	153
<b>Тытюк Л. С., Диль В. Ф.</b> Концепция транспортного сообщения в мегаполисе.....	158
<b>Арсентьева А. А., Золотарёва А. И.</b> Экология и охрана окружающей среды при эксплуатации воздушного транспорта .....	163
<b>Чамовских А. В., Мейер О. С.</b> Об охране труда инспектора по досмотру при выполнении им своих функциональных обязанностей .....	167

<b>Сайбель О. И., Максимова И. А.</b>	
Проблемы и перспективы сервиса на воздушном транспорте.....	172
<b>Николаева В. В., Кропивенцева С. А.</b>	
Управление процессом снабжения центров технического обслуживания комплектующими для самолетов Boeing 737.....	179
<b>Руденко Т. В., Вишнякова А. А.</b>	
Инновационный подход к охране периметра аэропорта .....	185
<b>Ружников Д. В., Тахватулина Н. К.</b>	
Вопросы экологической безопасности на воздушном транспорте .....	191
<b>Сысоева Е. В., Немчинов О. А.</b>	
Sukhoi Superjet-100: российский самолёт нового поколения .....	205
<b>Московых Ю. С., Золоторёва А. И.</b>	
Современные тенденции в развитии гражданской авиации .....	212
<b>Радаева Ю. А., Кропивенцева С. А.</b>	
Исследование процессов наземного обслуживания грузовых авиационных перевозок .....	218
<b>Немцев А. Г., Вишнякова А. А.</b>	
К вопросу о банкротстве авиаперевозчиков .....	226
<b>Каноркина А. В., Немчинов О. А.</b>	
Организационно-экономические особенности функционирования отечественного рынка вертолётных услуг .....	231
<b>Евстифорова Д. В., Немчинов О. А.</b>	
Пути повышения эффективности эксплуатационной деятельности российских авиакомпаний на рынке пассажирских перевозок .....	237

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

---

Председатель – к.т.н., доцент Ходацкий Сергей Альбертович  
Секретарь – к.т.н., доцент Сафарбаков Андрей Мирсасимович

УДК 669.018

**СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПЛАНЕРА**  
**ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Жданов А. Д., Зиновьев В. С.**

**Трофимов Л. М.**  
*(научный руководитель)*

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил*  
*«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского*  
*и Ю. А. Гагарина»*  
*(г. Воронеж)*

Приведены результаты анализа по применению конструкционных материалов в конструкции планера современных и перспективных летательных аппаратов. Показаны результаты исследований по разработке новых материалов с использованием сплавов на основе алюминия, титана, сталей, полимерных композиционных материалов, неметаллических материалов в отечественном и зарубежном самолетостроении.

*Ключевые слова:* алюминиевые сплавы, титановые сплавы, конструкционные стали, композиционные материалы.

Обеспечение необходимых тактико-технических характеристик (ТТХ) и других параметров: дальность, полезная нагрузка, скорость, маневренность, точность, всепогодность, обеспеченность производства отечественным сырьем, и др., во многом зависит от материалов, используемых в конструкции летательных аппаратов (ЛА).

Условия эксплуатации авиационной техники обуславливают крайне жесткие требования к материалам [1], которые должны обеспечить прочность конструкции при минимальных удельной массе, габаритах и расходе топлива, надежность и длительный ресурс при воздействии переменных и значительных силовых нагрузок, чередования повышенных и пониженных температур, коррозионно-активных сред, электромагнитных, рентгеновских излучений и др.

Применение перспективных конструкционных материалов в изделиях авиационной отрасли (планер самолетов и вертолетов) должно обеспечить:

- повышение коммерческого срока эксплуатации с 20 до 25–30 тыс. ч;
- повышение ресурса с 15–20 до 40 тыс. ч;
- повышение межремонтного срока с 6–8 до 10–12 лет;
- снижение массы конструкций на 20–25%.

Материальный облик современных ЛА определяют более 120 конструкционных и функциональных материалов. Выбор того или иного материала в каждом конкретном случае определяется конструктивными, технологическими и экономическими требованиями.

Применение современных конструкционных материалов: новых алюминиевых сплавов, полимерных композиционных материалов, титановых сплавов, конструкционных сталей, комплекса неметаллических материалов – лакокрасочных покрытий, клеев, герметиков – обеспечивает повышение срока эксплуатации изделий (в 1,5–2 раза), ресурса (в 1,5–2 раза), пожаробезопасности интерьера, межремонтного срока при эксплуатации [1].

Основным конструкционным материалом для планера остаются алюминиевые сплавы. В 2000–2017 гг. их доля в структуре применения сохраняется на уровне 50%.

Задача повышения надежности, улучшения характеристик трещиностойкости, повышения усталостных свойств сплавов для фюзеляжа, крыла и силового набора решается путем значительного повышения чистоты сплавов (уменьшение содержания примесей кремния и железа, количества избыточных фаз), разработки новых режимов термообработки, улучшения качества полуфабрикатов. Результатами последних исследований, проведенных в ВИАМ в этом направлении [2], являются сплавы 1163-АТ, 1933, 1965 и др. Так, сплав 1163-АТ системы Al-Cu-Mg не уступает по свойствам американскому сплаву 2524. Высокопрочный сплав 1933 в виде ковочных и прессованных полуфабрикатов, обладающий уникальным сочетанием прочности ( $\sigma_b=450-500$  МПа) и вязкости разрушения, превосходит по этим показателям сплавы США (7175 и 7050). Сплав 1965 (В96Ц3) высоколегированной композиции системы Al-Zn-Mg-Cu с малой добавкой Zr позволил обеспечить на 10–20% более высокую прочность (по сравнению со сплавом В95п.ч., В95о.ч.). Сплав 1965 имеет благоприятное сочетание сверхвысокой прочности и повышенной коррозионной стойкости при хорошем уровне вязкости разрушения и технологической пластичности и предназначен

для элементов, работающих преимущественно на сжатие в полете (верхние обшивки крыла и др.).

Перспективный путь повышения весовой эффективности – уменьшение плотности – реализуется путем создания рецептур алюминиевых сплавов, легированных литием. Создана серия сплавов средней (1420, 1424, 1441) и высокой прочности (типа 1460). Высокопрочный свариваемый сплав типа 1460 предназначен для эксплуатации в широком интервале температур – от +175 до –253°C; его применение взамен сплавов типа АМг6 возможно вследствие существенного повышения прочностных свойств сварных соединений (до 0,94 вместо 0,65 от прочности основного металла) при температурах –253°C, что позволяет снизить массу конструкции (на 35%).

В области жаропрочных алюминиевых сплавов проводятся работы по уточнению рецептур: например, сплава 1143 системы Al-Cu-Mg-Fe-Ni, в частности содержания Fe, Ni и влияния примесей на длительную прочность на базе не менее 1000 ч при температурах испытания 150 и 175°C; оптимизации интервала легирования, режимов термической обработки, исследованию коррозионной стойкости сплава Д25 (системы Al-Cu-Mn) для обеспечения длительной прочности  $\sigma_{1000}^{175^\circ} = 270$  МПа; изучению влияния состава сплава 1215 (Al-Cu-Mg-Ge) на кинетику процесса разупрочнения при температурах 150-200°C с выдержкой до 30000–60000 ч; исследованию режимов искусственного старения для сплава 1151 (Al-Cu-Mg) повышенной жаропрочности, свариваемости, который может заменить сплавы Д16, Д19, АК4-1ч., АК6, АК8 и 1201 для изготовления обшивки ВС, и особенно греющихся элементов планера (противообледенители, мотогондолы, передняя кромка крыла и т. п.), с целью повышения надежности и ресурса сверхзвуковых самолетов на 10–15%.

Коррозионностойкие высокотехнологичные сплавы систем Al-Mg-Si и Al-Zn-Mg-Cu используют для обшивки фюзеляжа ВС морской авиации (АД37, В91-Т3). Это позволит увеличить календарный срок службы изделий и их узлов, сократить в 2–3 раза количество ремонтов при эксплуатации морской авиации и снизить трудоемкость изготовления деталей на 10–20%.

Для конструкционных титановых сплавов задача повышения ресурса и надежности решается созданием нового поколения комплексно-легированных сплавов с повышенными характеристиками предела выносливости (на 30%) и трещиностойкости (КСТ – на 200%) при снижении стоимости сплава (на 20–30%) за счет полного перехода на отечественное сырье и недефицитные легирующие компоненты (снижение содержания молибдена и ванадия) [2].

Перспективные сплавы типа ВТ23, ВТ22 за счет комплексного легирования ( $\alpha+\beta$ ) – твердых растворов могут упрочняться на различные уровни прочности – от 1100 до 1400 МПа. Сочетание широкого ассортимента полуфабрикатов и высокой технологичности позволяет изготавливать практически все силовые элементы конструкций ЛА из сплавов ВТ23 и ВТ22 с обеспечением снижения массы конструкций (на 20–30%), стоимости и трудоемкости изготовления.

Ведутся исследования по созданию нового класса конструкционных сплавов с регламентированным типом упрочнения для высоконагруженных деталей при использовании прогрессивных технологических процессов сверхбыстрого охлаждения из жидкой фазы, гранулирования, газостатирования и изотермического прессования, что должно обеспечить повышение прочностных и ресурсных характеристик на 15–25%.

Конструкционные стали стабильно применяются в современном самолетостроении на уровне 5–10% [3]. В некоторых самолетах, например сверхзвуковых истребителях, стали являются профилирующим материалом. Основное назначение сталей – использование их в конструкциях, от которых требуются высокие жесткость, удельная прочность, усталостная долговечность, теплопрочность, коррозионная стойкость и ряд других параметров. Кроме того, как при производстве полуфабрикатов, так и при изготовлении сложных, в том числе сварных конструкций, для которых сварка должна являться финишной операцией, применение сталей особенно целесообразно из-за их хорошей технологичности.

Благодаря новым разработкам, удалось повысить минимальный уровень прочности стали до 1950 МПа при сохранении значений величины  $K_{Ic}$ . В последнее время созданы новые экономнолегированные высокопрочные конструкционные свариваемые стали ВКС-8 ( $\sigma_B=1800-2000$  МПа) и ВКС-9 ( $\sigma_B=1950-2150$  МПа), которые по значениям трещиностойкости не уступают стали 30ХГСН2А, а в ряде случаев и превосходят ее. Новые среднелегированные свариваемые стали для шасси и силовых деталей планера обеспечивают достаточно высокие характеристики прочности, вязкости и надежности:  $\sigma_B=2100-2300$  МПа,  $\sigma_{0,2}=1600$  МПа,  $K_{Ic}=62$  МПа $m^{-2}$ , МЦУ (при  $\sigma_{max}=500$  МПа):  $N=300$  цикл.

Для шасси и силовых деталей планера гидросамолетов с целью обеспечения снижения массы узлов, высоких коррозионной стойкости и сопротивления повторным нагрузкам ведется разработка коррозионностойких высокопрочных свариваемых сталей с прочностью  $\sigma_B=1700-1900$  МПа,

$KCU > 0,7 \text{ МДж/м}^2$ ,  $\psi > 40\%$  (для сравнения: наиболее прочная сталь этого класса ВКС-43 имеет  $\sigma_b = 1600 \text{ МПа}$ , зарубежная АМ-355 –  $\sigma_b = 1550 \text{ МПа}$ ).

Благодаря существенным преимуществам по удельной прочности и жесткости, исключительному сочетанию конструкционных, теплофизических, специальных свойств все в большем объеме применяются в конструкциях ВС полимерные композиционные материалы (ПКМ). Если в конструкции планера и в интерьере самолета Ту-204 объем применения ПКМ составил 14% от массы, то в перспективных пассажирских аэробусах он достигнет 25% [1, 4].

Применение ПКМ на основе углеволокна – одно из эффективных средств снижения массы конструкции. Совершенствование прочностных, деформационных, теплофизических характеристик углепластиков и повышение их теплостойкости даст возможность использовать их не только в слабо- и средненагруженных конструкциях ВС (интерьер, средства механизации крыльев, зализы), но и в перспективе в высоконагруженных деталях крыльев, вертикальных рулей и др.

Тщательный всесторонний анализ опыта применения ПКМ в зарубежном и отечественном самолетостроении был использован при конструировании крыла и хвостового оперения самолета МС-21 [5]. Основными материалами для изготовления сильно нагруженных деталей конструкционного назначения (панелей, лонжеронов и нервюр центроплана, панелей и лонжеронов консолей крыла, обшивок и лонжеронов стабилизатора и киля, нервюр центроплана, консолей крыла, стабилизатора и киля) выбраны препреги компании HEXCEL (США). Препреги вырабатываются из углеродного волокна марки IMA и углеродной ткани 285T2 на эпоксидном связующем марки M21. Материалом покрывного слоя для углепластиковых конструкций служит препрег, на основе стеклоткани марки 120, пропитанный эпоксидным связующим марки M21.

С целью создания теплостойких ПКМ, способных работать при температурах 300–400°C, разработаны научные основы получения полимерной матрицы методом изомеризационной полициклизации непосредственно на наполнителе предварительно полученного форполимера, образующего в процессе реакционного формирования макрогетероциклическую структуру лестничного типа, содержащую конденсированные ароматические и гетероциклические фрагменты [4]. Формирование лестничного полимера методом изомеризационной полициклизации протекает без выделения низкомолекулярных продуктов реакции и приводит к образованию плотноупакованной сверхжесткой лестничной структуры с высоким уровнем

межмолекулярного взаимодействия и тепло- и термослойкостью. находящимися практически на максимально возможном уровне, характерном для органических полимеров.

Полученные таким образом полимерные матрицы с плотностью 1,44–1,5 г/см<sup>3</sup> характеризуются физико-механическими показателями, не уступающими свойствам лучших эпоксидных связующих, и обладают одновременно термоокислительной устойчивостью вплоть до температур 500–520°C и температурой стеклования  $T_g > 400^\circ\text{C}$ .

На основе разработанного связующего изготовлены опытные образцы угле-, стекло- и органо-пластиков.

Дальнейший прогресс в применении ПКМ для сильнонагруженных конструкций связывается с разработкой нового класса слоисто-волоконистых анизотропных полимерных материалов – адаптирующихся композиционных материалов (АКМ).

Применение традиционных композиционных конструкций может принести определенный эффект, однако применение адаптирующихся КМ этот эффект значительно увеличивает. На практике реализована возможность достижения высоких массовых и аэродинамических характеристик при использовании адаптирующегося материала – углепластика АКМ-1у в крыле обратной стреловидности истребителя С-37 «Беркут» АО ОКБ «Сухого».

Эффект адаптации можно использовать при проектировании и создании новых ЛА.

Важнейшей задачей по реализации на практике концепции создания безопасно повреждаемых конструкций планера с увеличением ресурса является разработка новых высокопрочных материалов – информкомполитов, способных нести нагрузку и осуществлять передачу информации о повреждениях, возникающих в материале в процессе эксплуатации.

Дальнейший прогресс в совершенствовании свойств полимерных материалов, в частности клеев, композитов, компаундов и др., связывают с исследованиями в области наноструктурированных материалов и технологий [1].

Особые свойства материи на наномасштабном уровне проявляются в силу того, что размеры частицы (молекулы, кластера, зерна, домена) становятся сравнимы с масштабами таких физических величин, как средний пробег электронов в металлах, размеры доменов в ферромагнетиках, пробег фононов в кристаллах, эффективные размеры экситонов в полупроводниках. В основе функционирования наносистем лежат, таким образом, квантовые проявления

материи. На базе этих представлений и уже наработанного эксперимента прогнозируется создание наноструктурированных углеродных и керамических материалов, в десятки раз более прочных, чем сталь: полимерных материалов в 3 раза более прочных, чем существующие полимеры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов, Е. Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи [текст] / Е. Н. Каблов // *Материаловедение*. – 2006. – №7. – С. 32.–53.
2. Антипов, В. В. Перспективы развития алюминиевых, магниевых и титановых сплавов для изделий авиационно-космической техники [текст] / В. В. Антипов // *Авиационные материалы и технологии*. – 2017. – №3. – С. 186–194.
3. Громов, В. И., Высокопрочные конструкционные и коррозионностойкие стали [текст] / В. И. Громов, Н. М. Вознесенская, Н. Г. Покровская, Тонышева О. А. // *Авиационные материалы и технологии*. – 2017. – №3. – С. 159–174.
4. Раскутин, А. Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов [текст] / А. Е. Раскутин // *Авиационные материалы и технологии*. – 2017. – №3. – С. 344–348.
5. Савин, С. П. Применение современных полимерных композиционных материалов в конструкции планера самолетов семейства МС-21 [текст] / С. П. Савин // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, т. 14. – 2012. – №4. – С. 686–693.

## **ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО ПОДХОДА К СИНТЕЗУ ОБРАЗОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ АВИАЦИОННЫХ ГИДРОСИСТЕМ**

**Попельнюк И. А.**

*osni204@yandex.ru*

**Гареев А. М.**

*(научный руководитель)*

*Самарский национальный исследовательский университет*

*им. академика С. П. Королёва*

*(г. Самара)*

Работа посвящена применению структурного подхода к распознаванию образов состояния рабочих жидкостей гидравлических систем воздушных судов в рамках решения задачи разработки перспективных методов контроля за их состоянием. Определены произвольные элементы, которые представляют собой основные параметры рабочей жидкости, оказывающие наибольшее влияние на её состояние. На базе этих параметров построена регулярная структура состояния рабочей жидкости и дерево её вывода. Полученные результаты позволяют перейти к построению образа идеального состояния рабочей жидкости и её состояния в произвольный момент времени, сравнение которых позволит принять решение о её дальнейшей эксплуатации.

*Ключевые слова:* воздушное судно, гидравлическая система, рабочая жидкость, техническое состояние, математическая модель, теория распознавания образов, структурный подход.

Анализ перспектив развития систем управления воздушных судов показывает, что в качестве рулевых приводов магистральных самолетов будут применяться в основном электрогидравлические следящие приводы. Однако структура и элементы систем приводов претерпевают существенные изменения в направлении внедрения высокоэффективных электромеханических управляющих элементов, «встроенных» в привод микроэлектронных цифровых систем с адаптивными алгоритмами управления и контроля, автономных гидроприводов. Среди специфических требований, предъявляемых к характеристикам рулевых приводов, существенно влияющих на выбор проектных решений, следует выделить:

– достижение высокой степени безотказности, которая характеризуется способностью – сохранять управление рулевой поверхностью при появлении локальных отказов и элементах привода и взаимодействующих с ним системах;

– обеспечение требований к динамическим характеристикам в области малых и – сверхмалых перемещений выходного звена и других подвижных элементов с учетом особенностей серийного производства и условий эксплуатации;

– повышение энергетической эффективности путем регулирования потребляемой – энергии в соответствии с требуемой скоростью движения выходного звена при действующих на него силах.

Кроме того, в глобальном масштабе основное направление развития гидравлических систем летательных аппаратов в настоящее время связано с усложнением конструкции и повышением количества агрегатов в составе системы.

Из всего вышесказанного, учитывая важность задач, которые решает гидравлическая система на борту воздушного судна, следует, что повышение надежности гидравлических систем в настоящее время является глобальным вызовом, стоящим перед авиационной промышленностью.

Повышение надежности гидравлических систем достигается повышением надежности их элементов или применением резервирования, что значительно усложняет структуру системы, а также удорожает её эксплуатацию.

С другой стороны, учитывая тот факт, что состояние рабочей жидкости (РЖ) оказывает значительное влияние на состояние гидравлической системы, надежность гидравлических систем возможно повысить путём реализации технологий упреждающего обслуживания на базе встроенного контроля состояния РЖ. Такой подход позволяет не просто зафиксировать фактическое техническое состояние жидкости, но и спрогнозировать его динамику на будущее, тем самым предупредить возможные отказы и неисправности еще на этапе их зарождения. Однако встроенный контроль имеет ограничения по возможности и целесообразности применения, но, самое главное, базируется на оценке одного параметра жидкости, как правило, загрязненности, и совершенно не учитывает все остальные, такие как вязкость, плотность, химический состав и т. д.

Таким образом, в настоящее время назрела необходимость разработки универсальных средств контроля, диагностики и испытаний, базирующихся на современных цифровых технологиях, что породило задачу разработки универсальных методов оценивания состояния компонентов гидравлических систем, в частности – РЖ, по отдельности, и интегральной системы диагностики для всей гидросистемы в целом. Решение этой задачи невозможно без наличия универсальной модели, описывающей структуру РЖ, всю

совокупность параметров её состояния и динамику их изменения во времени. Следовательно, задача по разработке подобной модели является на сегодняшний день весьма актуальной.

Решение поставленной задачи осложняет тот факт, что РЖ – весьма сложный объект и получить её точное математическое представление на современном уровне развития науки и техники не представляется возможным. Таким образом, для описания состояния РЖ целесообразно использовать теорию распознавания образов, выдвинутую У. Гренандером. На основе математического аппарата этой теории возможно построить конфигурации различных состояний РЖ и реализовать их в рамках образов РЖ в произвольные моменты её жизненного цикла. Сравнение этих образов с образом идеальной РЖ позволит сделать вывод о динамике изменения параметров РЖ, сделать вывод о её техническом состоянии и принять решение о возможности её дальнейшей эксплуатации. В качестве инструмента для сопоставления образов текущего состояния РЖ и идеальной РЖ предлагается использовать структурный подход, описанный К. Фу [1].

Для построения структурной модели образов состояний РЖ на первом этапе необходимо определить множество неприводимых элементов, при помощи которых можно эти образы описать. Это определение во многом зависит от природы образов, от специфики рассматриваемой области применения и от характера доступных технологических средств. Общего решения проблемы выбора неприводимых элементов пока не найдено, однако существуют некоторые рекомендации, которые помогают сделать правильный выбор [1, 2]:

1. Неприводимые элементы должны служить основными элементами образов и обеспечивать адекватное и сжатое описание исходных данных в терминах заданных структурных отношений.

2. Поскольку структурная информация в неприводимых элементах не важна, и они считаются простыми и компактными образами, их выделение и распознавание должны легко осуществляться существующими несинтаксическими методами.

Следуя данным правилам, а также опираясь на результаты, полученные в работах [3, 4], можно сделать вывод, что неприводимыми элементами (образующими), на базе которых возможно описать образы состояния РЖ, должны являться её основные параметры:

- концентрация механических примесей (загрязненность) ( $n$ );
- вязкость ( $b$ );

- плотность ( $p$ );
- химические свойства ( $c$ );
- температурные свойства ( $t$ );

Однако с учётом особенностей конкретной задачи к производным элементам предъявляется ещё два требования. Во-первых, они должны описывать изменение состояния РЖ во времени, а во вторых, иметь некоторую размерность.

Для обеспечения первого требования, ввиду отсутствия конкретных функций, описывающих динамику параметров во времени, удобно использовать сумму первоначального значения параметра и некоторого добавочного значения, модуль которого увеличивается во времени и может принимать значения от 0 до физически адекватных пределов. Второе требование, по сути, обеспечивается введением классового разбиения множества всевозможных состояний с введением межклассовых границ.

На основании всего вышеизложенного производными элементами, на базе которых можно описать динамику состояния РЖ во времени, являются:  $n_{ид} + \Delta n$ ,  $b_{ид} + \Delta b$ ,  $p_{ид} + \Delta p$ ,  $c_{ид} + \Delta c$ ,  $t_{ид} + \Delta t$ . Каждый из них представляет собой сумму идеального (первоначального) значения соответствующего параметра (концентрации механических примесей, вязкости, плотности, химических свойств, температурных свойств) и некоторого положительного по модулю добавочного значения.

Далее, после выбора производных элементов, необходимо определить порождающую грамматику. В соответствии с определением [1] порождающая грамматика  $G$  есть четверка

$G = (V_N, V_T, P, S)$ , где  $V_N$  и  $V_T$  – основной и вспомогательный словари (или множество переменных) грамматики. Объединение  $V_N$  и  $V_T$  составляет полный словарь  $V$  грамматики  $G$ ,  $V_N \cap V_T = \emptyset$ . Символом  $P$  обозначено конечное множество правил вывода или правил подстановки, обозначаемых как  $\alpha \rightarrow \beta$ , где  $\alpha$  и  $\beta$  – цепочки символов из  $V$ , причём  $\alpha$  содержит, по крайней мере, один символ из  $V_N$ . Символ  $H \in V_N$  – начальный символ.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что:

1. Состояние рабочей жидкости, а также характеризующие его параметры, составляют основной словарь порождающей грамматики, т. е.  $V_N = \{S, n_{ид} + \Delta n, b_{ид} + \Delta b, p_{ид} + \Delta p, c_{ид} + \Delta c, t_{ид} + \Delta t\}$ .

2. Классовые значения вышеуказанных переменных составляют вспомогательный словарь порождающей грамматики, т. е.:

$$V_T = \{n_{ид}, b_{ид}, p_{ид}, c_{ид}, t_{ид}, n_n, b_n, p_n, c_n, t_n, n_{прот}, b_{прот}, p_{прот}, c_{прот}, t_{прот}, n_{от}, b_{от}, p_{от}, c_{от}, t_{от}, S_{ид}, S_n, S_{прот}, S_{от}\}$$

3. Начальным символом  $H \in V_N$  в нашем случае будет являться состояние рабочей жидкости (S).

4. Правила вывода или подстановки определяются из следующих соображений.

Значения каждого параметра рабочей жидкости можно разделить на 4 диапазона с учетом факторов:

- конкретной марки рабочей жидкости (нормативный документ на ту или иную марку РЖ определяет верхнюю и нижнюю границы значений параметров);
- регламента эксплуатации РЖ гидросистеме (определяет значения параметров РЖ в тот или иной момент времени в течение эксплуатации).

Кроме того, необходимо учитывать реальный опыт эксплуатации РЖ в гидравлической системе объекта, т. к. зачастую заложенные в нормативных документах значения корректируются в процессе эксплуатации.

Разбиение значений параметров РЖ в общем случае представлено на рис. 1.

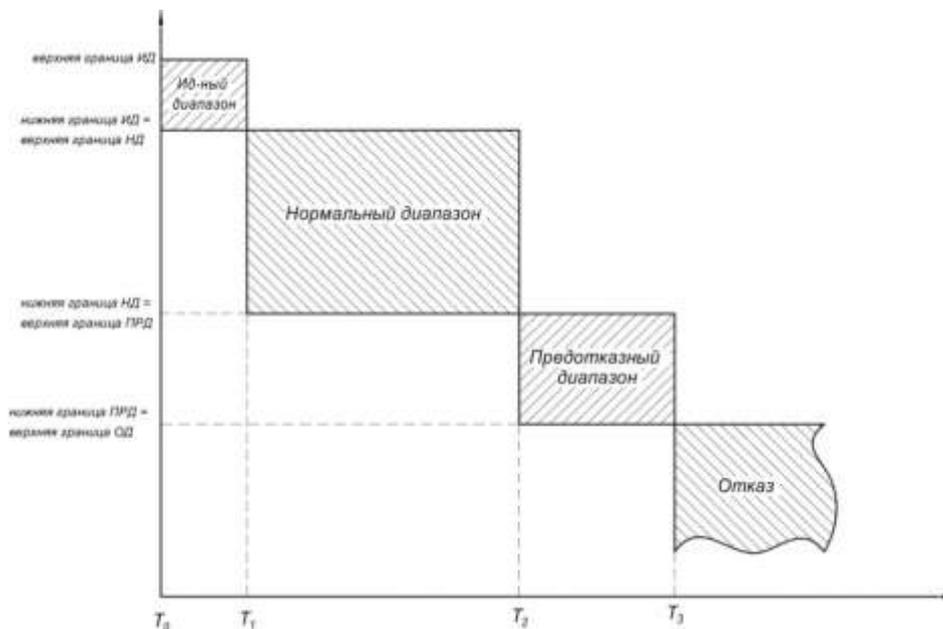


Рисунок 1 – Разбиение параметров РЖ на диапазоны

Правила подстановки заключаются в том, что переменные взаимозаменяются в зависимости от того, какому диапазону соответствуют их значения в тот или иной момент времени. В качестве примера сформулируем правила подстановки для параметра загрязненности:

$$n + \Delta n \rightarrow n_{уд} \mid n_{уд}^H < n_{уд} + \Delta n$$

$$n + \Delta n \rightarrow n_H \mid n_H^H < n_{уд} + \Delta n < n_H^6$$

$$n + \Delta n \rightarrow n_{прот} \mid n_{прот}^H < n_{уд} + \Delta n < n_{прот}^6$$

$$n + \Delta n \rightarrow n_{от} \mid n_{уд} + \Delta n < n_{от}^6$$

где  $n^6$  и  $n^H$  – верхние и нижние границы того или иного диапазона.

Аналогично формулируются правила подстановки и для других производных элементов.

Выбранная грамматика порождает регулярную структуру (рис. 2).

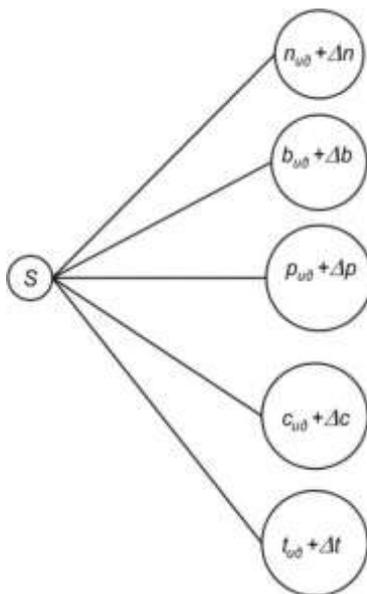


Рисунок 2 – Регулярная структура образа состояния РЖ

Дерево вывода данной структуры имеет вид:

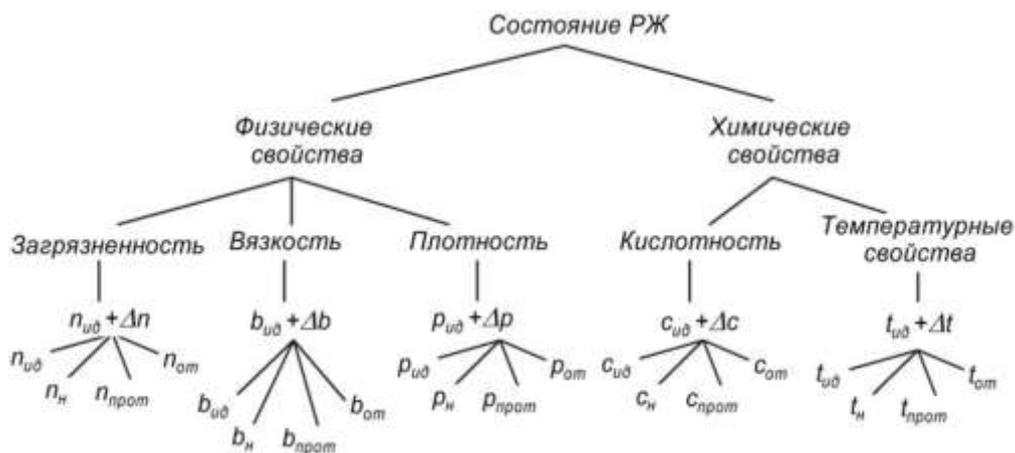


Рисунок 3 – Дерево вывода для структуры образа состояния РЖ

Полученные результаты, а именно производные элементы и структура состояния РЖ, описанная на их основе, позволяют перейти к дальнейшим исследованиям в данной области, связанным с построением (на базе полученных производных элементов) функции  $f: X \rightarrow Y$ , где  $X$  – текущее состояние РЖ, а  $Y$  – идеальное состояние РЖ. Сравнение данных величин позволит дать заключение о качестве РЖ в данный момент времени и принять решение о возможности её дальнейшей эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фу, К. Структурные методы в распознавании образов [текст] / К. Фу. – М.: Мир, 1977. – 320 с.
2. Хомский, Н. Три модели для описания языка [текст] / Н. Хомский // «Кибернетический сборник». – 1961 г. – вып. № 2. – С 113–124.
3. Коптев, А. Н. Перспективные направления совершенствования процесса оценки технического состояния рабочих жидкостей гидравлических систем летательных аппаратов [текст] / А. Н. Коптев, А. М. Гареев, И. А. Попельнюк // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2017. – Т. 16. – № 1. – С. 101–108.
4. Коптев, А. Н. Теоретико-множественная модель состояния рабочей жидкости гидравлической системы воздушного судна [текст] / А. Н. Коптев, А. М. Гареев, И. А. Попельнюк // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2017. – Т. 16. – № 3. – С. 65–75.

## ОЧИСТКА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИНОВЫХ РУКАВОВ

**Хвощев С. О.<sup>1</sup>, Азнагулов Т. Р.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>*cthutq\_55@mail.ru*, <sup>2</sup>*13nov96@mail.ru*

**Санчугов В. И.**  
(научный руководитель)

*Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С. П. Королёва  
(г. Самара)*

Данная работа посвящена поиску решения проблемы очистки внутренней поверхности резинового рукава. По аналогии с используемым на сегодняшний день гидродинамическим методом очистки, предложен метод гидромеханической очистки рукавов.

*Ключевые слова:* резиновые рукава, гидромеханическая очистка, материал МР.

Для осуществления гибкой связи трубопроводов и агрегатов различных систем летательных аппаратов и наземного оборудования используются резиновые и фторопластовые рукава. В системах с низким рабочим давлением (топливных, масляных) наиболее широкое применение нашли резиновые рукава прокладочной конструкции [1]. Конструктивно такие резиновые рукава состоят из внутреннего резинового слоя, одной или нескольких тканевых прокладок и наружного резинового слоя. В системах высокого давления (гидравлических, пневматических) применяются рукава оплеточной конструкции [2], [3]. Конструкция таких резиновых рукавов состоит из внутреннего резинового слоя, одной или более нитяной или металлической оплетки и наружного резинового слоя. Рукава с нитяной оплеткой рассчитаны на максимальное рабочее давление до 2,4 МПа, а с металлической – до 35 МПа. Резиновые рукава прокладочной конструкции рассчитаны на номинальное рабочее давление до 1,3 МПа.

К внутренней поверхности резиновых рукавов предъявляются следующие требования:

1. Не допускаются складки, трещины, механические повреждения, задиры.
2. Не допускаются возвышения и углубления от отпечатков поверхности дорнов и от актиадгезива (талька) более 0,3 мм.

3. Не допускаются включения ингредиентов, расположенных группами и одиночным размером более 0,3 мм.

4. Допускается наличие впрессованного в резину талька.

Внутренняя поверхность подвергается очистке от производственных загрязнений. Качество очистки контролируется путем визуального осмотра черной или белой салфетки, протянутой через рукав один раз.

На сегодняшний день существует проблема, которая связана с использованием метода прокачки рабочей жидкости или моющей жидкости для очистки внутренней поверхности рукава. Как показывает практика, используемый метод не гарантирует эффективного удаления загрязнений. Сложность удаления актиадгезива заключается в том, что в процессе изготовления он вдавливаются дорном в горячую резину, а при остывании резины оказывается частично внедренным в поверхностный слой.

Для более эффективной очистки внутренней поверхности рукавов в Национальном институте авиационных технологий (НИАТ) была разработана специальная технология очистки (ПИ-1.4.733.80) – ручная пропыжовка рукава замшевым тампоном или киперной лентой. Пропыжовка должна выполняться два раза с каждого конца рукава. Данная технология не нашла широкого применения из-за трудоемкости и невозможности механизации процесса.

По аналогии с используемым на сегодняшний день гидродинамическим методом очистки предложен метод гидромеханической очистки резиновых рукавов.

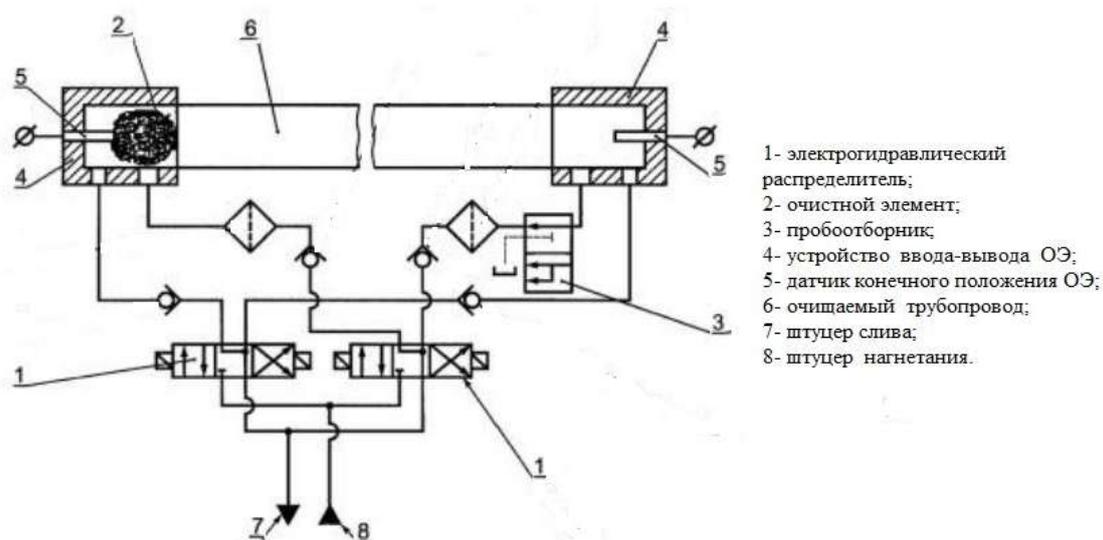


Рисунок 1 – Принципиальная схема гидравлической системы стенда гидромеханической очистки трубопроводов

В качестве аналога метода очистки была использована схема, показанная на рис. 1, гидромеханической очистки трубопроводов из стальных сплавов типа 12Х18Н10Т наружным диаметром от 8 до 50 мм [4].

Данный метод предполагает применение очистного элемента из материала МР («металлорезина»).

Материал МР был разработан в Куйбышевском авиационном институте (ныне Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева) в конце 60-х годов, представляет собой однородную пористую массу, получаемую холодным прессованием определенным способом уложенной, растянутой и дозированной по весу проволоочной спирали.

Применение неупругих очистных элементов типа «скребок» и «ерш» для технологии очистки невозможно в связи с жесткими требованиями к состоянию внутренней поверхности и разнотолщинностью резиновых рукавов. А очистной элемент из материала МР обладает высокой упругостью, что позволяет применять его в технологии гидромеханической очистки. За счет высокого модуля упругости материала МР, на стенках очищаемого рукава образуются значительные касательные напряжения очистного элемента, из-за чего достигается высокая эффективность очистки. Помимо высокой упругости, такой очистной элемент обладает самопромываемостью в процессе гидромеханической очистки при фильтрации моющей жидкости через его поры, что исключает возможность загрязнения пор самого очистного элемента актиадгезивом.

Методика обработки гидромеханической очистки (рис. 2) заключается в том, что в один конец рукава вводится очистной элемент соответствующего диаметра, этот конец надевается на штуцер промывочного стенда, а второй конец опускается в сетчатый стакан-улавливатель очистного элемента. Проводится прокачка рукава под давлением 0,15...0,2 МПа до выхода очистного элемента и в течение 30...40 с после выхода. Затем концы рукава меняются местами и прокачка повторяется. По окончании проводится контроль чистоты резинового рукава.

Один резиновый рукав типа 40У12-13 (внутренний диаметр  $d=12$  мм, наружный диаметр  $D=20$  мм) был разделен на две одинаковые части. Очевидно, что эти части имеют одинаковую исходную загрязненность актиадгезивом. На одной части рукава был отработан гидродинамический метод очистки. Результаты промывки резинового рукава бензином Б-70 под давлением 0,2 МПа в течение шести минут показали, что во всех образцах присутствует антиадгезив.

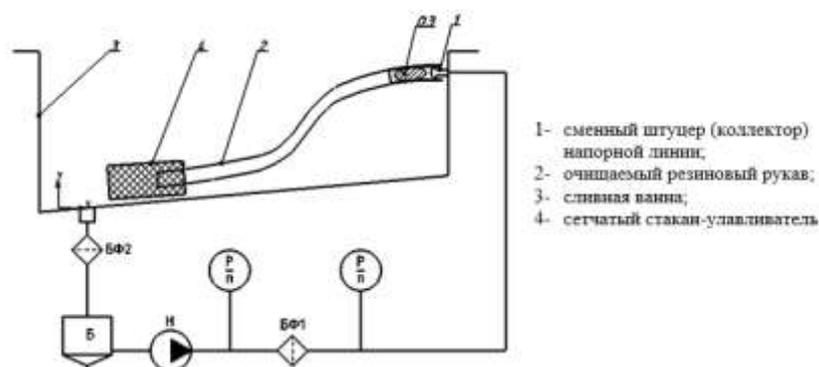


Рисунок 2 – Принципиальная схема стенда для гидромеханической очистки резиновых рукавов

На второй части был отработан гидромеханический метод очистки. После шести проходов сферического очистного элемента, выполненного из нихромовой спирали ( $d_{\text{пр}} = 0,09$  мм), диаметром – 12,2 мм, пористостью – 0,89 следов антиадгезива практически не обнаружено. Механических повреждений внутреннего слоя резины не обнаружено.

Аналогичным действиям подвергался рукав 40У4-13(внутренний диаметр  $d=4$  мм, наружный диаметр  $D=11$  мм). На внутренней поверхности рукава после промывки методом прокачки бензина обнаружен антиадгезив. При гидромеханическом методе очистки сферический очистной элемент был заменен на цилиндрический с параметрами: диаметр цилиндрической части – 4,2 мм, длина цилиндрической части – 4,7 мм, длина всего очистного элемента – 9 мм, пористость – 0,89. Количество проходов очистного элемента было снижено с шести до четырех. В результате такой очистки антиадгезива не обнаружено, но видны отдельные частички, вдавленные в слой резины.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что гидромеханическая очистка внутренней поверхности резиновых рукавов от антиадгезива высокоэффективная технология. При этом было установлено, что для очистки резиновых труб оптимальной формой очистного элемента является цилиндрическая форма со скругленными краями.

Разработанная технология может быть достаточно просто автоматизирована. Для этого необходимо разработать стенд, обладающий возможностью автоматической наработки заранее заданного числа циклов очистки с последующим переводом в режим прокачки, способностью перехода с автоматического режима работы на ручной и с ручного на автоматический в любой момент времени. При этом стенд должен быть оснащен приборами индикации положения очистного элемента и индикатором текущего значения наработанного числа циклов очистки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 10362-76. «Рукава резиновые напорные с нитяным усилением, неармированные. Технические условия».
2. ТУ 0056016-87. «Рукава и муфты прокладочной конструкции. Технические условия».
3. ГОСТ 6286-73. «Рукава резиновые высокого давления с металлическими оплетками неармированные. Технические условия».
4. ГОСТ 31246-2004. «Метод очистки гидромеханический трубопроводов газовых и жидкостных систем машин и механизмов от загрязнений. Технические условия».

УДК 629.7.03

### ЛОПАТОЧНОЕ ФРОНТОВОЕ УСТРОЙСТВО ИМПУЛЬСНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

**Хоришко Р. А.**

*horishkoroman@yandex.ru*

**Исаев А. И.**

*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*

*Московского государственного технического университета*

*гражданской авиации*

*(г. Иркутск)*

В статье описано исследование влияния угла конусности лопаточного фронтального устройства камеры сгорания импульсного двигателя на объем зоны обратных токов.

*Ключевые слова:* импульсный двигатель, лопаточное фронтальное устройство, завихритель, зона обратных токов.

#### **1 ФРОНТОВОЕ УСТРОЙСТВО В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ПУВРД**

Зона обратных токов – пространство в передней части жаровой трубы, в котором осевая составляющая скоростей потока прямо противоположна направлению осевой составляющей скорости основного потока в жаровой трубе. Обратные токи снижают среднюю скорость потока в зоне горения и тем самым способствуют стабилизации пламени. Вместе с тем они улучшают перемешивание топлива с воздухом и способствуют испарению топлива

и воспламенению свежей смеси вследствие непрерывного подвода в переднюю часть жаровой трубы продуктов горения, обладающих высокой температурой. Устройства, с помощью которых создаются зоны обратных токов, называются стабилизаторами пламени.

Фронтное устройство в КС может быть исполнено 2 способами – с обратным клапаном перед завихрителем и без обратного клапана, но с лопатками, которые закрывают проточную часть завихрителя при детонации газовой смеси в КС.

В камерах сгорания, где применяется фронтное устройство с обратным клапаном, часть энергии цикла расходуется на деформацию пружины обратного клапана.

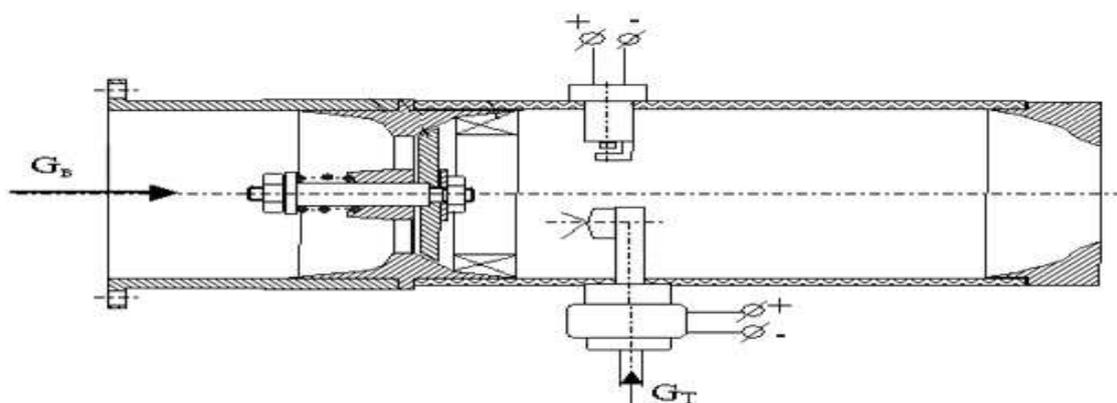


Рисунок 1 – Камера сгорания ПуВРД с обратным клапаном

Работа ПуВРД описывается циклом Гемфри.

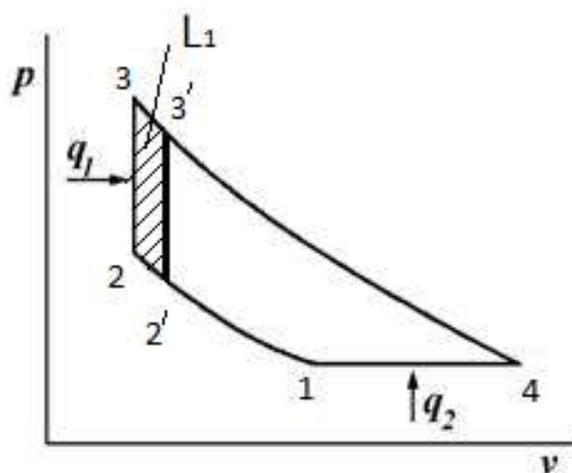


Рисунок 2 – Потери работы цикла на деформацию пружины обратного клапана

Лопаточные фронтальные устройства имеют преимущество перед фронтальными устройствами с обратным клапаном, т. к. лопатки открываются под действием потока и закрываются под действием давления в КС при детонации.

При применении цилиндрического фронтального устройства снижается эжекция, поэтому мы будем исследовать конусные фронтальные устройства.

Было исследовано влияние угла конусности завихрителей на объём зоны обратных токов. Были изготовлены 3 модели фронтальных устройств с углами конусности 40 град, 80 град и 120 град.

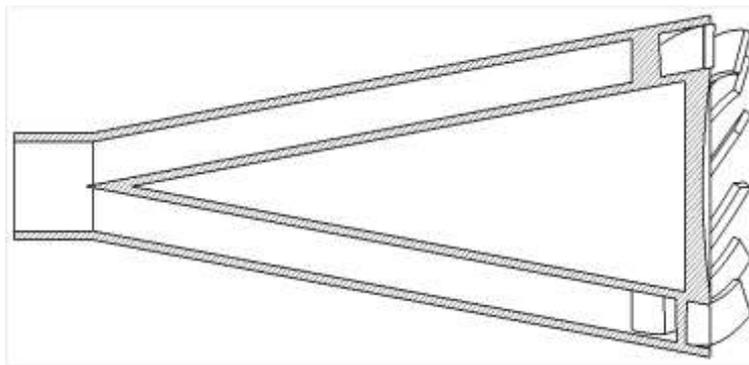


Рисунок 3 – Лопаточный завихритель, угол конусности 40 град

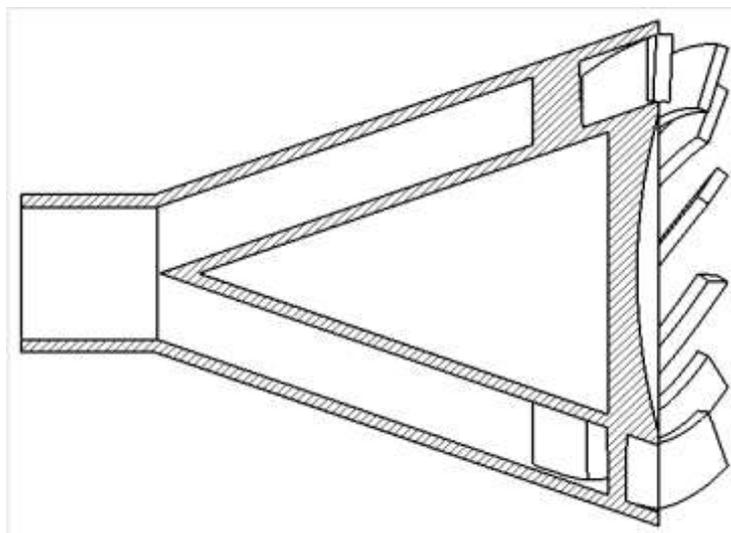


Рисунок 4 – Лопаточный завихритель, угол конусности 80 град

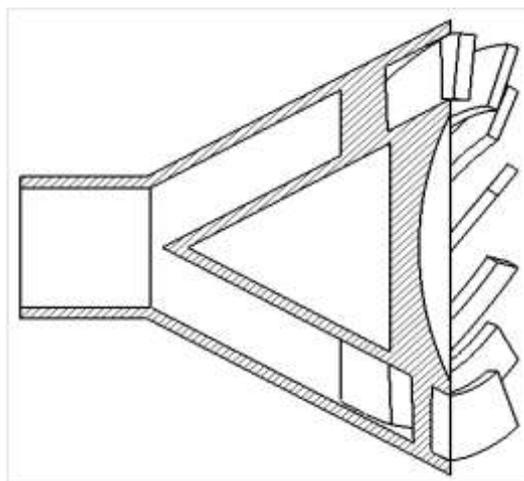


Рисунок 5 – Лопаточный завихритель, угол конусности 120 град

После эксперимента в гидробассейне были получены результаты.

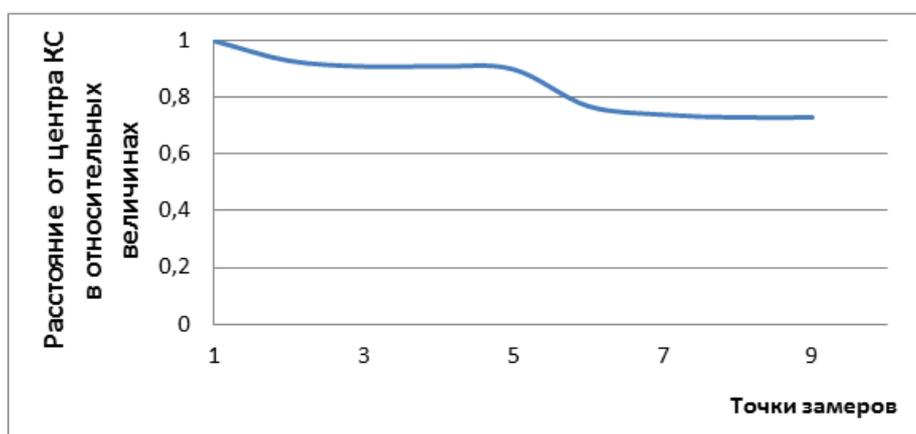


Рисунок 6 – Картина зоны обратных токов с фронтальным устройством с углом конусности 40 град

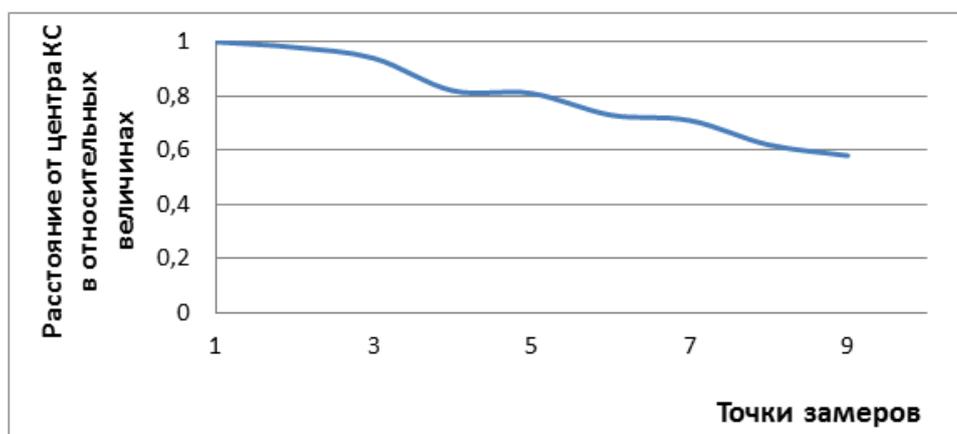


Рисунок 7 – Картина зоны обратных токов с фронтальным устройством с углом конусности 80 град

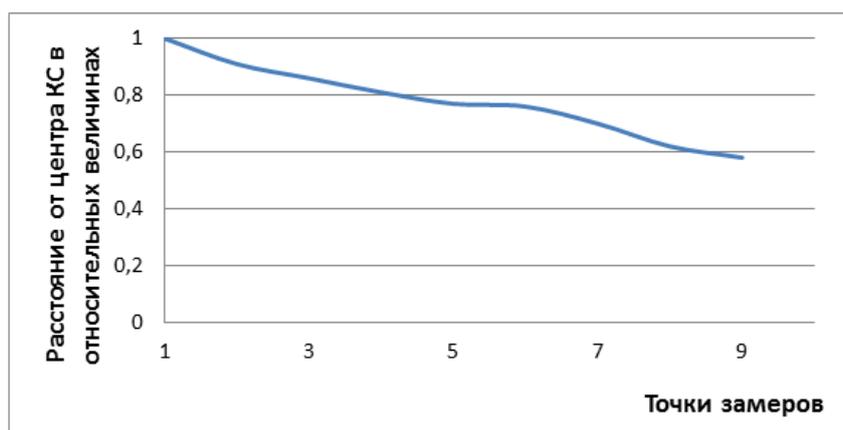


Рисунок 8 – Картина зоны обратных токов с фронтовым устройством с углом конусности 120 град

Таблица 1 – Объём зоны обратных токов в зависимости от угла конусности завихрителя

Угол конусности, град	Объём ЗОТ, % от общего объёма КС
40	0,84
80	0,8
120	0,78

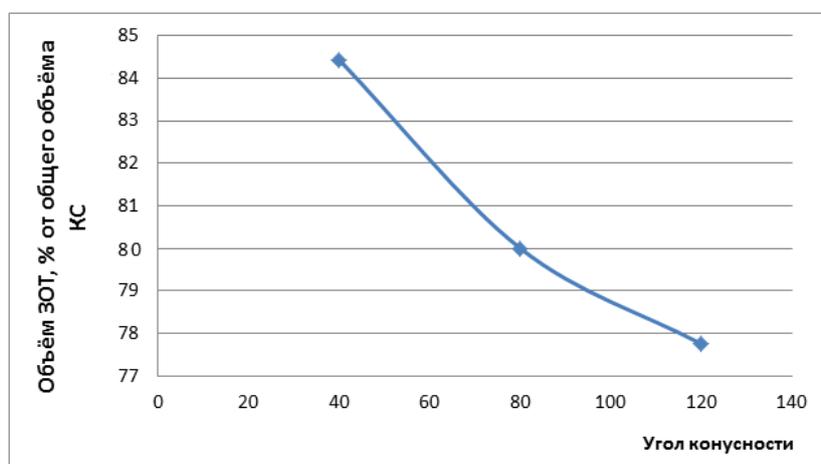


Рисунок 9 – Зависимость объёма зон обратных токов от угла конусности

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была получена зависимость объёма зоны обратных токов, от угла конусности. Ввиду того, что камера сгорания цилиндрическая наибольшая зона обратных токов достигается при меньшем угле конусности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Импульсные детонационные двигатели / под редакцией С. М. Фролова. – М.: Торус пресс, 2006. – 592 с.

УДК 629.735.33

### **АНАЛИЗ ВИДОВ РЕМОНТА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Бобин П. Н.**

*yabkn@ya.ru*

**Лапаев А. В.**

*(научный руководитель)*

*Новосибирский государственный технический университет  
(г. Новосибирск)*

В данной работе проводился анализ видов ремонтов композиционных панелей летательных аппаратов. Была разработана классификация ремонтируемых композиционных деталей в группы по температуре полимеризации и размеру повреждений. Были собраны статистические данные по количеству и времени ремонта предлагаемых групп деталей.

*Ключевые слова:* ремонт, композиционные панели, дефекты, технология.

В конструкции современных летательных аппаратов используют большое количество деталей, изготавливаемых из композиционных материалов, причем доля их применения в конструкции постоянно растет [1, 2]. Влияние вредных факторов в процессе эксплуатации авиационной техники: перепады температур, воздействия агрессивных жидкостей, вибрация, обдув набегающим потоком, столкновения с птицами, влияние человеческого фактора и т. д. – приводят к повреждениям композиционных деталей и к необходимости их ремонта. Одним из типов композиционных деталей, которые в большей мере подвержены появлению эксплуатационных дефектов, являются композиционные панели планера летательных аппаратов. К таким панелям относятся как детали, образующие теоретический контур (обтекатель радиолокатора, обтекатели стыка крыло-фюзеляж, панели стеновые пассажирского салона, панели доступа крыла и т. д.), так и детали внутреннего интерьера (багажные полки, стены гардеробов, панели потолочные пассажирского салона и т. д.). Ремонтные процессы таких композиционных

деталей на воздушных судах зарубежного производства, описанные в технической документации, имеют достаточно ограниченные описания технологического процесса ремонта, без описания возможных альтернативных технологических приемов, что приводит к появлению дополнительных работ при ремонте и иногда даже к браку. По этим причинам проблема улучшения технологических процессов ремонта композиционных деталей летательных аппаратов является актуальной.

Анализ технологических процессов ремонта композиционных панелей на воздушных судах зарубежного производства проводился в ремонтном подразделении «S7-engineering» в г. Новосибирске.

В зависимости от величины и степени тяжести повреждения ремонтная документация производителя воздушного судна жестко регламентирует методы выполнения ремонтов, применяемые материалы и в некоторых случаях необходимую оснастку [3, 4]. Применяемые при ремонте композиционных деталей материалы и клеи имеют различную температуру полимеризации, что дает возможность скомпоновать ремонтные детали в группы по температуре полимеризации и размеру повреждений.

В группу «незначительно поврежденные с временным ремонтом» вошли повреждения размерами до 100 мм, ремонтируемые с помощью внешнего нагрева (естественной средой с температурой от 21<sup>0</sup> до 27<sup>0</sup> С или инфракрасной лампой до температуры 65<sup>0</sup> С) и с созданием вакуума в вакуумном мешке за один шаг. Большую часть повреждений этой группы составляют детали, имеющие следующие виды дефектов:

- царапины;
- отслоение и трещины внешнего слоя наружной (внутренней) обшивки;
- расслоение на краю панели глубиной до 3 мм;
- вмятины незначительной глубины, но без потери устойчивости сот или расслоения слоев.

Данный вид ремонта выполняют очень редко, т. к. жизненный цикл ремонта не превышает 300–750 летных часов. При этом потребное время временного ремонта в зависимости от имеющегося в наличии оборудования или температуры сушки не на много меньше, чем потребное время для постоянного ремонта. При конверсии временного ремонта в постоянный наносится дополнительное повреждение панели и усложняется процесс ремонта. Схема выполнения временного ремонта представлена на рис. 1.

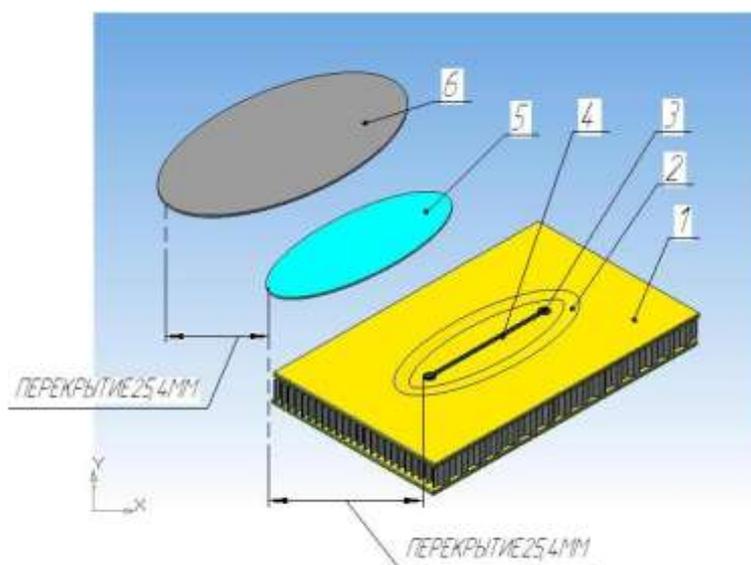


Рисунок 1 – Схема ремонта группы «Незначительно поврежденные с временным ремонтом»: 1 – композитная сотовая панель; 2 –угловая выборка; 3 – отверстие останавливающее рост трещины; 4 – трещина; 5 – заполняющий слой; 6 – перекрывной слой

В группу «незначительно поврежденные с постоянным ремонтом» отнесены повреждения ремонтируемые с помощью внешнего нагрева температурой до  $66^{\circ}\text{C}$  (инфракрасными лампами, термоодеялом) и созданием вакуума в вакуумном мешке за один шаг или два шага. Большую часть повреждений этой группы составляют детали, имеющие:

- порывы;
- пробоины;
- отслоение от сот обшивок;
- местное повреждение сот малого размера (например, от образования влаги);
- глубокое расслоение на краю панели длиной до 12 мм;
- вмятины с потерей устойчивости сот.

Размеры всех вышеперечисленных повреждений до 200 мм в диаметре. Но при этом размер ремонта не должен превышать площадь более 50% панели. Схема выполнения ремонта представлена на рис. 2.

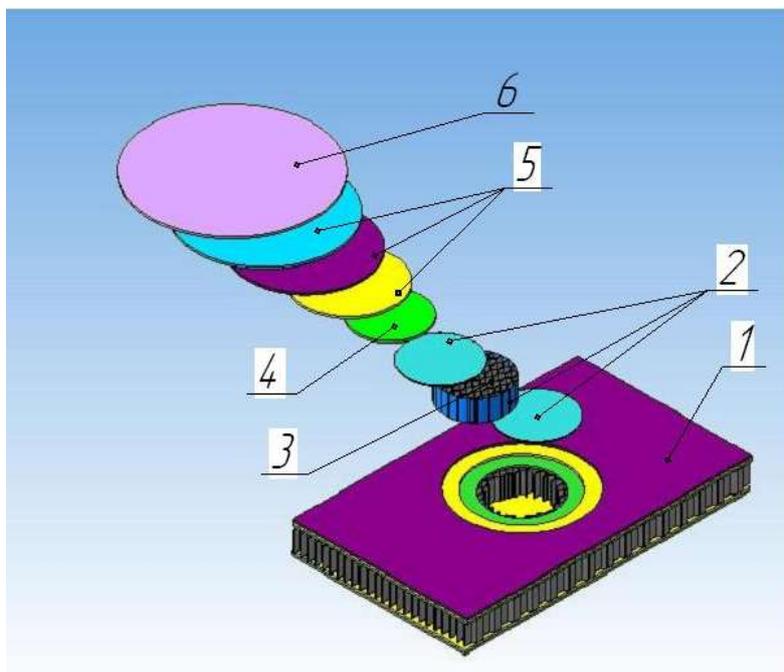


Рисунок 2 – Схема ремонта группы «Незначительно поврежденные с постоянным ремонтом»: 1 – композитная сотовая панель; 2 – клеевая пленка, 3 –ремонтный сотовый наполнитель; 4 – выравнивающий слой для сотового наполнителя; 5 – ремонтные слои; 6 – перекрывающий слой

В группу «поврежденные с постоянным ремонтом» отнесены повреждения, ремонтируемые с помощью внешнего нагрева температурой до  $93^{\circ}\text{C}$  (термоодеялом, в печи) и созданием вакуума в вакуумном мешке за два или три шага. Большую часть повреждений этой группы составляют детали, имеющие:

- сквозные порывы;
- пробоины;
- вмятины с потерей устойчивости сот;
- расслоение наружной и внутренних обшивок.

Размеры всех вышеперечисленных повреждений до 300 мм в диаметре. Но при этом размер ремонта не должен превышать площадь более 50% панели. Схема ремонта представлена на рис. 3.

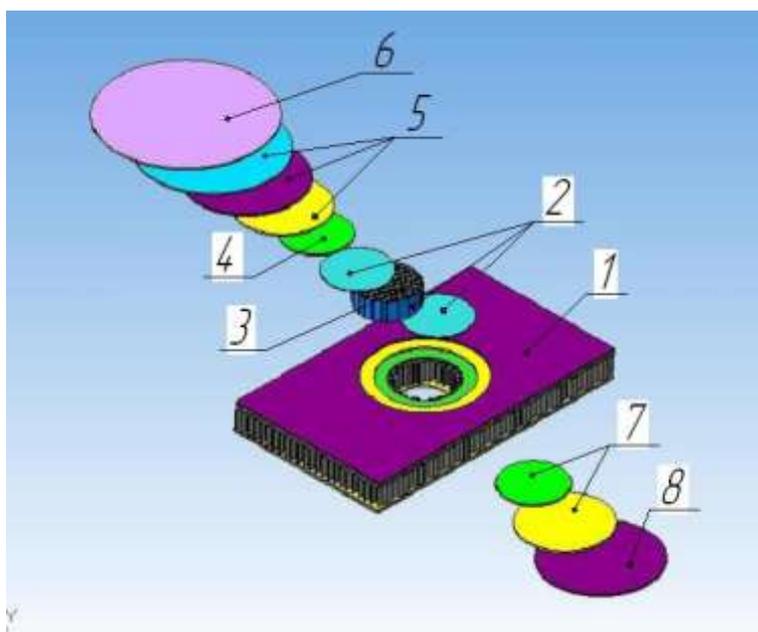


Рисунок 3 – Схема ремонта группы «Поврежденные с постоянным ремонтом»:  
 1 – композитная сотовая панель; 2 – клеевая пленка; 3 – ремонтный сотовый наполнитель; 4 – выравнивающий слой для сотового наполнителя; 5 – ремонтные слои верхней обшивки; 6 – перекрывной слой верхней обшивки; 7 – ремонтные слои нижней обшивки; 8 – перекрывной слой нижней обшивки

К группе «с повреждением до 50% площади детали» отнесены повреждения ремонтируемые с помощью внешнего нагрева (термоодеялом, в печи или автоклаве) и созданием вакуума в вакуумном мешке (созданием избыточного давления в автоклаве) за два или три шага. Большую часть повреждений этой группы составляют детали, имеющие:

- сквозные порывы;
- пробоины;
- вмятины с потерей устойчивости сот;
- расслоение наружной и внутренних обшивок;
- расслоения и повреждения водой сот.

Размер ремонта не должен превышать площадь более 50% панели. Схема ремонта аналогична схеме повреждения с постоянным ремонтом.

К группе «с повреждением до 100% площади детали» отнесены повреждения, ремонтируемые с помощью внешнего нагрева (в автоклаве) и созданием избыточного давления за два или три шага с использованием оснастки, повторяющей контур детали. Схема ремонта аналогична схеме повреждения с постоянным ремонтом.

Разбиение ремонтируемых деталей по группам со средним количеством ремонтов на самолет при прохождении формы обслуживания С и средней продолжительностью ремонта в часах представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Классификация композиционных деталей по группам ремонта

Степень повреждения	Количество ремонтов на самолет	Средняя продолжительность ремонта в часах
Незначительно поврежденные с временным ремонтом	1	6-12
Незначительно поврежденные с постоянным ремонтом	2-10	12-15
Поврежденные с постоянным ремонтом	2-15	16-28
С повреждением до 50% площади детали	<1	36-90
С повреждением до 100% площади детали	<<1	36-150

Разработанная классификация групп ремонтных композиционных деталей по температуре полимеризации и размеру повреждений позволяет сформулировать рамки применимости предлагаемых технологических решений, которые мы в дальнейшем будем использовать для исследований по улучшению технологических процессов ремонта панелей из композиционных материалов воздушных судов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Башаров, Е. А. Анализ применения композиционных материалов в конструкции планеров вертолетов [текст] // Е. А. Башаров, А. Ю. Вагин // Труды МАИ. – Москва: Московский Авиационный институт, 2017. – вып. № 92.
2. Применение композиционных материалов в авиации [электронный ресурс] – Режим доступа URL: <http://izron.ru/articles/razvitie-tekhnicheskikh-nauk-v-sovremennom-mire-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhdunarodnoy-na-sektsiya-4-mashinostroenie-i-mashinovedenie-spetsialnost-05-02-00/primenenie-kompozitsionnykh-materialov-v-aviatsii/> (Дата обращения 16.11.2017). – Загл. с экрана.
3. Structure repair manual A320 51-77-12 – Airbus industries – 2016.
4. Component maintains manual 53-15-11 – Airbus industries – 2015 – 388 с.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЭКИПАЖА НА ЭТАПЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОТКАЗОВ В ПОЛЕТЕ

**Бекишев А. С., Ладоша Д. С.**  
*vinken13@mail.ru*

**Караваев Ю. А.**  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал  
Московского государственного технического университета  
гражданской авиации  
(г. Иркутск)*

В статье обоснована возможность повышения безопасности полетов путем повышения уровня информационной поддержки летного экипажа на этапе локализации отказов системы выпуска – уборки шасси. На основе постулатов Д. Петерсена и анализа особых ситуаций, имевших место в воздушном пространстве России, предложена методика оценки влияния уровня информационной поддержки экипажа на безопасность полетов. Предложен способ повышения уровня информационной поддержки летного экипажа на этапе локализации отказа системы выпуска – уборки шасси.

*Ключевые слова:* безопасность полетов, информационная поддержка летного экипажа, алгоритмы локализации отказов.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Обеспечение безопасности полетов при воздушных перевозках пассажиров и грузов является приоритетной задачей государства. При этом в условиях рыночной экономики роль государства заключается во введении требований ко всем элементам авиационно-транспортной системы (АТС) и организации контроля за их исполнением.

С точки зрения обеспечения безопасности полетов, АТС – это совокупность подсистем, которые взаимодействуют в процессах подготовки и выполнения полетов.

Основным звеном АТС является совокупность экипажа и воздушного судна. Экипаж, как конечное звено АТС, выполняя полет, ощущает недостатки конструкции воздушного судна, системы управления воздушным движением, организации и обеспечения полетов, а также отрицательные воздействия внешней среды.

# 1 АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОТКАЗОВ В ПОЛЕТЕ

Функциональная эффективность экипажа зависит от уровня профессиональной подготовки, дисциплины, психофизиологического состояния и уровня информационной поддержки его деятельности.

Информационная поддержка экипажа заключается в предоставлении ему предупреждающей информации, связанной с возможным усложнением условий полета в связи с негативными изменениями параметров внешней среды, нарушением работоспособности функциональных систем воздушного судна, приближением параметров полета к критическим значениям.

Усложнение условий полета характеризуется незначительным увеличением психофизиологической нагрузки на экипаж или незначительным ухудшением устойчивости и управляемости воздушного судна. Усложнение условий полета не приводит к необходимости немедленного или непредусмотренного изменения плана полета и не препятствует его благоприятному окончанию. Однако из-за ошибочных действий экипажа, либо из-за недостатка информации, как показывает практика, особая ситуация на борту воздушного судна может ухудшиться по цепочке: усложнение условий полета, сложная, аварийная и катастрофическая ситуация.

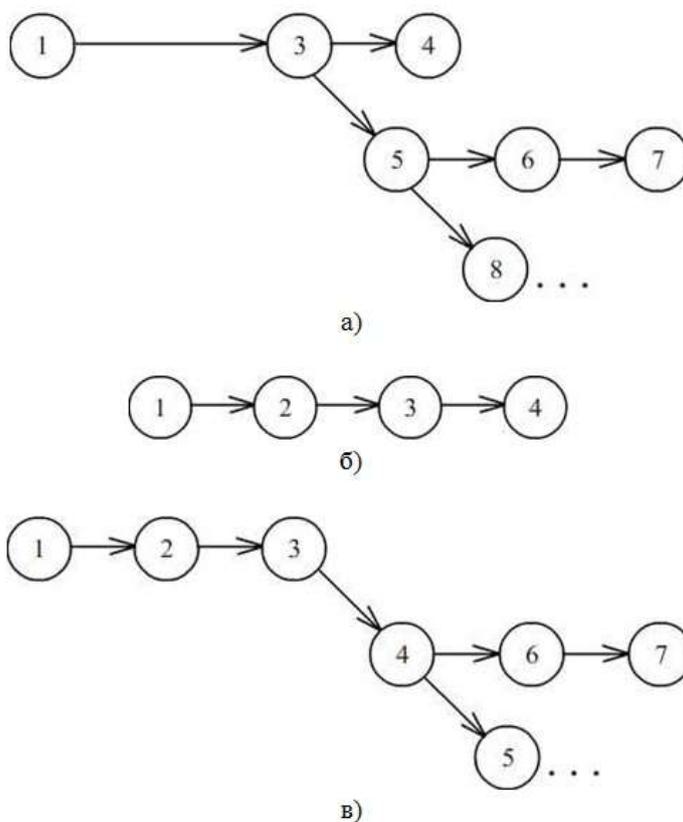


Рисунок 1 – Алгоритмы компенсации отказов

Принятые обозначения событий:

1 – появление отказа (неисправности);

2 – появление сообщения бортовой информационной системы;

3 – действия экипажа после анализа информации;

4 – отказ локализован;

5 – отсутствие дополнительной информации, необходимой для локализации отказа;

6 – предоставление дополнительной информации бортовым оборудованием;

7 – отказ локализован;

8 – отказ не локализован, проявилась сложная ситуация.

Отметим, что локализация отказа в полете заключается в восстановлении работоспособности системы с целью благополучного завершения полета.

Как показывает практика, возможны следующие варианты алгоритмов локализации отказов в зависимости от полноты предоставления информации экипажу:

– появление неисправности, не индицируется бортовой информационной системой (рис. 1, а). При этом работоспособность системы сохраняется, однако качество выполняемых функций снижается;

– появление отказа индицируется бортовой информационной системой. Удастся локализовать отказ по алгоритму, приведенному в руководстве по производству полетов (рис. 1. б);

– появление отказа индицируется бортовой информационной системой. Локализовать отказ по алгоритму, приведенному в руководстве по производству полетов, не удастся, требуется дополнительная информация (рис. 1, в).

## **2 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКИПАЖА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ**

Остановимся более подробно на анализе каждой из возможных полетных ситуаций.

23.08.2013 самолет Ан-148 (RA-61704), выполняющий рейс Минводы – Санкт-Петербург, при взлете потерял шину передней стойки шасси [5].

Функциональные возможности бортовой информационной системы не позволяют индицировать данную неисправность. Поскольку на передней опоре размещается два колеса, то работоспособность шасси сохранилась, но его

функциональные возможности существенно снизились. Вероятность возникновения отказа при пробеге самолета существенно возросла (рис. 1, а).

Благодаря отсутствию внешних негативных факторов на этапе посадки полет был благополучно завершен. При этом события развивались по цепочке: 1–3–4. Локализация отказа была обеспечена запасом прочности шины оставшегося колеса на передней опоре.

Однако при наличии бокового ветра для стабилизации прямолинейного движения самолета по ВПП потребуется управление передними колесами. Так как на передней опоре число колес уменьшилось с двух до одного, то и сила трения шины о поверхность ВПП снизилась в два раза. Потребный угол поворота колеса для парирования разворота самолета возрастет, а нагрузки на шину значительно увеличатся, что с высокой долей вероятности приведет к ее разрушению.

Внезапное возникновение отказа вызывает повышение психоэмоционального состояния экипажа и требует определенного времени для оценки ситуации и принятия решения, в течение которого ситуация может перейти в сложную (цепочка событий 1–3–5–8).

При расширении возможностей бортовой информационной системы экипаж до посадки будет проинформирован о неисправности и заблаговременно спланирует действия, необходимые для локализации возникающего в процессе пробега отказа (выработка излишек топлива, определение дополнительных управляющих воздействий, направленных на снижение нагрузок на переднее колесо в виде отдельного торможения основных колес, остановка одного из двигателей для создания стабилизирующего момента). Процесс будет развиваться по цепочке 1–3–5–6–7.

Анализ причин авиационных происшествий и инцидентов свидетельствует, что в большинстве случаев в процессе развития особой ситуации возникают события, которые последовательно усложняют ситуацию в полете. По статистическим данным, свыше 70% авиационных происшествий обусловлены возникновением в полете совокупности неблагоприятных факторов. Как правило, это совокупность нескольких факторов, связанных с деятельностью экипажа, функциональной эффективностью ВС и условиями внешней среды.

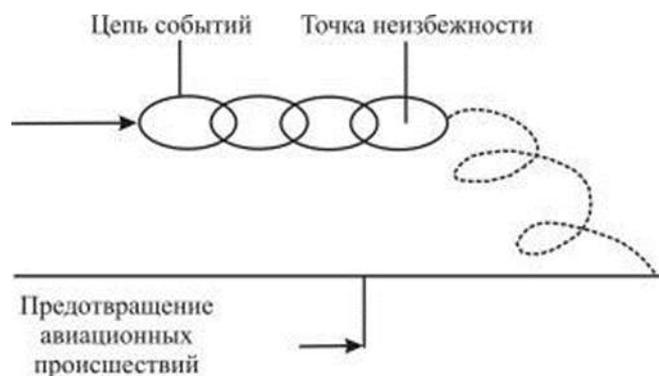


Рисунок 2 – Концепция предотвращения летных происшествий

Для оценки эффективности мероприятий по расширению возможностей бортовой информационной системы воспользуемся постулатами Д. Петерсена [1] (рис. 2), которые позволяют представить процесс предотвращения авиационных происшествий в виде цепи событий, направленных на локализацию отказа. Тогда вероятность локализации отказа может быть определена соотношением

$$p = \frac{m}{n+m},$$

где  $m$  – число событий, связанных с реализацией возможных алгоритмов локализации отказа;  $n$  – общее число возможных особых ситуаций;  $n + m$  – общее число звеньев в цепи событий на этапе локализации отказа.

Тогда вероятность локализации отказа по цепочке событий 1–3–4 составляет

$$p = \frac{1}{4+1} = 0,2.$$

При локализации, цепочка событий 1–3–5–8, число предоставляемых бортовой информационной системой сообщений не изменится, поэтому  $p = 0,2$ .

При локализации отказа по цепочке событий 1–2–3–5–6–7 искомый показатель увеличится и составит

$$p = \frac{3}{4+3} = 0,43.$$

Таким образом, при появлении информации о неисправности вероятность локализации отказа в процессе посадки воздушного судна возрастет в 2,15 раза.

21.12.2011 Ан-148 (RA-61704) При выполнении рейса ПЛ-175 Санкт-Петербург–Внуково после взлета не погасла лампочка выпущенного положения передней опоры шасси. Экипаж принял решение о возврате на аэродром вылета Пулково и выработке топлива в зоне ожидания. Шасси

выпущены от основной системы управления. Причиной не уборки передней опоры шасси явился отказ концевого выключателя ВКП-Д713 [2].

В данном случае процесс локализации отказа осуществляется штатно путем прекращения выполнения полетного задания (цепочка событий 1 – 2 – 3 – 4) и связан с предоставлением бортовой информационной системой ложного сообщения об отказе. На безопасность полетов события данного типа прямого влияния не оказывают, но связаны со значительными экономическими потерями авиакомпаний (не окупаемые затраты на топливо, различные виды авиационного обеспечения, расход ресурса авиадвигателей). Эффективность мероприятий по расширению возможностей бортовой информационной системы при развитии особой ситуации по цепочке событий 1 – 2 – 3 – 4, рис. 1, а, не оценивалась.

18 ноября 1994 г. во время тренировочного полета при выполнении захода на посадку в аэропорту Будапешт не выпустилась носовая опора шасси на Ту-134А-3 (борт НА-LBK) авиакомпании Malev как от основной, так и от аварийной систем [3]. Необходимо указать, что локализация отказа системы выпуска шасси на современных воздушных судах осуществляется путем дублирования, как правило двукратного, основного канала управления. Так, при локализации отказа путем использования резервной системы управления реализуется цепочка событий 1–2–3–5 (рис. 1, в).

Вероятность локализации отказа по цепочке событий 1–2–3–4–5 составляет

$$p = \frac{2}{4 + 2} = 0,33$$

Так как на самолете Ту-134А-3 предусмотрена возможность контроля положения носовой опоры при выпуске через смотровое окно, то экипаж сумел получить дополнительную информацию. Обеспечив доступ в нишу носовой опоры шасси с помощью аварийного топора, экипажу удалось локализовать отказ в соответствии с цепочкой событий 1–2–3–4–6–7. Полет был завершен благополучно.

Вероятность локализации отказа по цепочке событий 1–2–3–4–6–7 составляет

$$p = \frac{3}{4 + 3} = 0,43.$$

Таким образом, приведенный ряд примеров показал, что повышение уровня информативного обеспечение летного экипажа существенно повышает

эффективность его работы в процессе локализации отказов, что способствует повышению безопасности полетов.

Учитывая, что установка смотрового окна для передней ниши шасси в современных условиях малоэффективна, то для повышения уровня информационного обеспечения летного экипажа при локализации отказа в системе выпуска – уборки шасси предлагается в каждой нише шасси установить видеокамеру.

Необходимо отметить, что за период 2013–2017 г (первое полугодие), количество инцидентов, связанных с отказами шасси, не снижалось ниже 20% [3], причем основная доля инцидентов была связана с отказами средств сигнализации, или элементов замков выпущенного и убранного положения шасси. Потому объектами контроля видеокамер целесообразно выбрать именно эти элементы.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предлагаемый способ повышения уровня информационного обеспечения летного экипажа не оказывает влияния на число инцидентов, связанных с отказами системы выпуска – уборки шасси, но повышает вероятность благополучного завершения полета и снижения некупаемых затрат авиапредприятиями.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Данилов Б. Д. Безопасность полетов: учебное пособие // Б. Д. Данилов – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 148 с.
2. Письмо Росавиации от 25.01.2012 N 03-13/24 «Информация по безопасности полетов СЗ МТУ ВТ за 4 квартал 2011 года».
3. Демин А. Ту-134 – последние полеты. Авиация и время. 2010 [электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [http://www.libma.ru/transport\\_i\\_aviacija/aviacija\\_i\\_vremja\\_2010\\_06/p7.php](http://www.libma.ru/transport_i_aviacija/aviacija_i_vremja_2010_06/p7.php) (Дата обращения 16.11.2017). – Загл. с экрана.
4. Анализ состояния безопасности полётов в авиапредприятиях и эксплуатантах, подведомственных зс мту росавиации, в 2016 году [электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [http://www.sibfana.ru/files/Analiz\\_2016\(1\).pdf](http://www.sibfana.ru/files/Analiz_2016(1).pdf) (Дата обращения 16.11.2017). – Загл. с экрана.

5. Ан-148: Происшествия и инциденты [электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://interfax.ru/russia/news.asp?id=325027> (Дата обращения 16.11.2017). – Загл. с экрана.

УДК 62-408.8

## **ИЗМЕНЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ**

**Говоров Е. С., Загородных И. Г.**

**Петров А. В., Головнева Т. И.**  
(научные руководители)

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

В статье рассматривается перспективный метод дифференцированного распределения радиопоглощающих свойств материалов по объему покрытия с целью уменьшения эффективной площади рассеяния.

*Ключевые слова:* радиопоглощающие материалы, электростатическое поле.

Развитие системы ПВО, основанной на радиоэлектронных средствах обнаружения и наведения оружия, привело к необходимости разработки самолетов с низкой эффективной площадью рассеяния (ЭПР).

Важным фактором, обеспечивающим малую эффективную площадь рассеяния, является применение радиопоглощающих материалов (РМ), преобразующих энергию радиолокационного излучения в тепловую энергию в результате взаимодействия с электромагнитным излучением.

Поглощающие покрытия содержат специальные поглощающие компоненты (графит, порошки ферритов и пр.), а структура покрытий обеспечивает снижение отражений от границы раздела сред (воздух – покрытие). Различие между собственно материалами (РМ) и покрытиями (РПП) до некоторой степени условно и предполагает, что первые входят в состав конструкции объекта, а вторые – как правило, наносятся на его поверхности. Условность разделения связана и с тем обстоятельством, что любой радиопоглощающий материал является не только материалом, но микроволновым устройством-поглотителем. Способность материала

поглощать высокочастотное излучение зависит от его состава и структуры. РПМ и РПП не обеспечивают поглощения излучения любой частоты, напротив, материал определенного состава характеризуется лучшей поглощающей способностью при определенных частотах. Не существует универсального поглощающего материала, приспособленного для поглощения излучения радиолокационной станции (РЛС) во всем частотном диапазоне.

Существует, по меньшей мере, три типа РПМ: резонансные, нерезонансные магнитные и нерезонансные объёмные материалы. Резонансными или частотнонастроенными РПМ обеспечивается частичная или полная нейтрализация отраженного от поверхности поглотителя излучения частью его прошедшего по толщине материала. Эффект нейтрализации значителен при толщине поглотителя, равной одной четверти длины волны излучения. В этом случае, отраженные поверхностью поглотителя волны находятся «в противофазе».

Резонансные материалы наносятся на отражающие поверхности объекта маскировки. Толщина РПМ соответствует четверти длины волны излучения РЛС. Падающая энергия высокочастотного излучения отражается от внешней и внутренней поверхностей РПМ с образованием интерференционной картины нейтрализации исходной волны. В результате происходит подавление падающего излучения. Отклонение ожидаемой частоты излучения от расчётной приводит к ухудшению характеристик поглощения, поэтому данный тип РПМ эффективен при маскировке от излучения РЛС, работающей на стандартной, неизменяемой моночастоте.

Нерезонансные магнитные РПМ содержат частицы феррита, распределенные в эпоксидном пластике или в покрытии. Поскольку нерезонансные магнитные РПМ рассеивают энергию высокочастотного излучения по большой поверхности, результатом является тривиальное повышение ее температуры. Иными словами, уменьшение ЭПР производится за счет ухудшения ИК сигнатуры объекта. Основное преимущество нерезонансных магнитных РПМ состоит в их широкополосности – эффективности поглощения излучения в широком диапазоне частот. Напротив, эффективность резонансных РПМ ограничена узким диапазоном расчётных частот излучения [3].

Нерезонансные объёмные РПМ обычно используются в виде относительно толстых слоев, поглощающих большую часть подводимой энергии до подхода и возможного отражения волны от металлической задней пластины. Принцип работы основан на использовании как диэлектрических, так и магнитных

потерь, последнее – за счет добавления соединений феррита. В некоторых случаях используется введение графита в пенополиуретановую матрицу.

Противолокационная окраска рассеивает электромагнитное излучение за счет электропроводности и ослабляет интенсивность отражения от «электромагнитных горячих точек» на поверхности самолета. Однако высокая электропроводность обшивки самолета приводит к возникновению вторичного излучения, источниками которого могут быть головки заклепок, острые кромки и выступающие антенны.

Наносимые на различные элементы самолета радиопоглощающие покрытия отличаются от тех, которые применялись 10–15 лет тому назад. Современные покрытия имеют переменную по профилю толщину, сложную структуру с меняющимися значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей как по толщине (нормально к поверхности), так и вдоль поверхности обшивки.

Создание веществ с произвольным законом поведения магнитной проницаемости связано с некоторыми дополнительными ограничениями.

Оптимизация ЭПР какого-либо фрагмента самолета изменением диэлектрической и магнитной проницаемости вещества, распределением его толщины по поверхности фрагмента требует разработки технологий, которые в дальнейшем воспроизведут требуемые параметры.

Для нанесения покрытий используются совершенно разные технологии [1]. Большая часть поверхности самолета покрывается методом лакокрасочных технологий. Несмотря на кажущуюся простоту, эта технология наиболее ответственная, поскольку от ее качества зависит вклад в ЭПР одного из основных рассеивающих элементов самолета – его воздухозаборника, кроме того, нарушение адгезии покрытия в воздухозаборнике может привести к аварии самолета. Многослойные радиопоглощающие покрытия напыляются с помощью как роботизированных систем в серийном производстве самолетов, так и ручным способом при создании экспериментальных образцов техники.

Для упрощения технологии нанесения покрытий предлагается не изменять его толщину, а дифференцированно распределять радиопоглощающие свойства по объему. Для этого в ряде случаев улучшить радиопоглощающие покрытия можно, используя ферромагнитные проводящие частицы очень малого размера, неравномерно распределенные как по площади, так и по глубине залегания. Распределение частиц предлагается производить после нанесения покрытия, до момента его затвердевания, воздействуя на частицы силами электростатического поля. В электрическом поле на диэлектрики и проводники

действуют силы. Их называют пондеромоторными силами, т. е. силами, действующими на весомые тела. Первопричиной возникновения пондеромоторных сил являются электрические заряды, сообщаемые телам. Однако сообщение зарядов телам осложняется появлением поляризационных зарядов и упругих деформаций в диэлектриках и проводниках. Пондеромоторные силы действуют на границе раздела двух диэлектриков с разными диэлектрическими проницаемостями. Управление движением ферромагнитных проводящих частиц очень малого размера возможно изменением конфигурации электростатического поля. Максвеловские силы, обусловленные воздействием электрополя на жидкий диэлектрик на границе раздела двух диэлектриков, что приводит жидкость в движение вдоль электродов, в результате чего в межэлектродной зоне возникает система вихрей [2]. Вихри с максимальной частотой вращения возникают у торцов фокусирующих элементов. Частицы, попадающие в подобную систему, также принимают участие в циркуляции и, как правило, имеют тенденцию сохранять свое положение в том вихре, в который они попадают при входе в систему. Это свойство обеспечивает создание работоспособной конструкции, позволяющей транспортировать частицы вдоль фокусирующей системы вплоть до выхода из нее.

Исследование параметров электрополя в электростатических системах сводится к изучению характеристик напряженности электрополя  $E$  и измерению градиента напряженности электрополя  $\text{grad}\vec{E}$  в рабочей зоне устройства.

Напряженность поля зависит, прежде всего, от разности потенциалов, подводимых к электродам, формы электродов, их взаимного расположения.

Величина градиента напряженности поля будет

$$\text{grad}\vec{E} = \frac{E_{n+1} - E_n}{\Delta\ell},$$

где  $E_{n+1}$  и  $E_n$  – значения напряженности в произвольных точках, между которыми имеется  $\text{grad}\vec{E}$ , отстоящих друг от друга на расстоянии  $\Delta\ell$ .

Течение жидкости, как правило, возникает в зоне искривления электростатического поля.

Максвеловские силы обусловлены воздействием электрополя на жидкий диэлектрик на границе раздела двух диэлектриков, что приводит жидкость в движение вдоль электродов, в результате чего в межэлектродной зоне возникает система вихрей.

Вихри, расположенные ближе к периферии фокусирующей зоны, характеризуются активным движением масс жидкости, поскольку напряженность поля в этой части системы максимальна.

На внесенные ферромагнитные проводящие частицы также действуют пондеромоторные силы, приводящие их в движение.

В случае неоднородного поля имеет место пондеромоторная сила

$$F_n = 2\pi r^3 \epsilon_{\text{ч}} \epsilon_{\text{жс}} \left( \frac{\epsilon_{\text{ч}} - \epsilon_{\text{жс}}}{\epsilon_{\text{ч}} + 2\epsilon_{\text{жс}}} \right) \text{grad} E^2,$$

где  $r$  – радиус частицы м;  $\epsilon_{\text{ч}}, \epsilon_{\text{жс}}$  – диэлектрическая проницаемость частицы и жидкости соответственно.

Особенностью конструкции является то, что практически во всех точках проходного канала, по которому движутся частицы, электрополе неоднородно. Неоднородность поля обусловлена формой и взаимным расположением криволинейных электродов. Расстояние между электродами изменяется не линейно при приближении от периферии к центральной части устройства.

Таким образом силы электрического взаимодействия внешнего электрополя и частиц зависят от заряда частиц, их расположения, диэлектрической проницаемости частиц и среды, параметров электрополя.

Траектория движения жидкости не стационарна и изменяется со временем. На рис. 1 представлена фотография натурной модели элементарной ячейки устройства с вязкой жидкостью, обогащенной окисью хрома до наложения электростатического поля. А на рис. 2 представлена та же ячейка, но через несколько секунд после наложения разницы потенциалов 3 кВ.

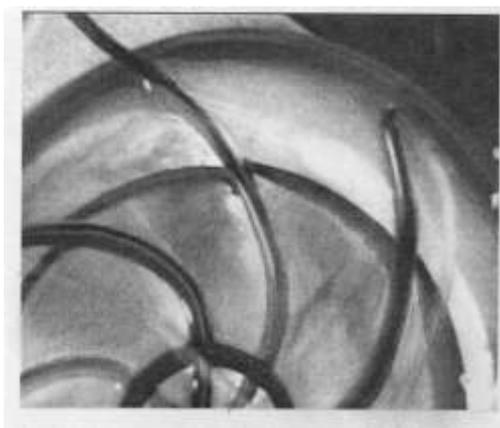


Рисунок 1 – Элементарная ячейка с топливом, загрязненным окисью хрома до наложения электростатического поля

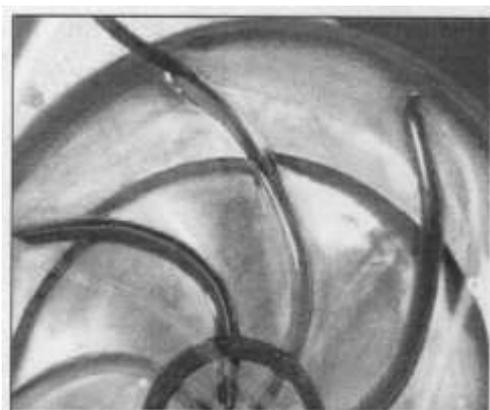


Рисунок 2 – Элементарная ячейка с топливом, загрязненным окисью хрома после наложения электростатического поля

При подаче разности потенциалов на электроды в ячейках возникает интенсивное движение жидкости, увеличивающееся по мере увеличения напряжённости поля. Вихри, вызванные этим движением, захватывают всю проточную зону канала устройства, а скорость движения жидкости под действием «электрического ветра», может превышать скорость движения, вызванную прокачкой жидкости через устройство. Движение жидкости направлено из зон с малой напряженностью в зоны, где напряженность наибольшая. Такими свойствами обладают зоны у кромок электродов в центральной части устройства.

Вследствие условия неразрывности начинается движение по восполнению дефицита массы жидкости. Причём, вход жидкости в ячейку осуществляется в периферийной зоне, где напряжённость  $E$  и её градиент  $\text{grad } E$  имеют меньшие значения из-за максимального расстояния между электродами. Визуальные наблюдения и анализ виртуальной модели позволяет сделать следующие заключения о механизме работы ячейки: если частица несёт значительный заряд, то, войдя в устройство, она направляется к электроду по кратчайшему пути. Если частица несёт незначительный заряд, то электрические силы, действующие на неё, существенно меньше сил вязкого трения и гидродинамического сопротивления среды. Частицы с незначительным зарядом вовлекаются в движение вместе с жидкостью по кольцевой траектории и проносятся вдоль электрода.

Таким образом, воздействуя электростатическим полем определенной конфигурации на покрытия с ферромагнитными частицами, можно изменять его радиопоглощающие свойства в нужных направлениях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, Е. Г. Новые авиационные материалы и технологии [текст] / Е. Г. Иванов. – М.: ВАТУ, 2008. – 97 с.
2. Леонов, В. В. Исследование явления электрического ветра и применение его для перекачивания жидких диэлектриков [текст] / В. В. Леонов // Вестник Приазовского государственного технического университета. – М.: 2011. – Вып. № 1/2011(133).
3. Лагарьков, А. Н. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий [текст] / А. Н. Лагарьков, М. А. Погосян // Вестник российской академии наук. 2003. – Том 73, № 9. – С. 848.

УДК 629.7.03

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ОПРЕДЕЛЕНИИ НАДЁЖНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Лукасов В. В., Огородникова Ю. В.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*grand\_espada24@mail.ru*

**Никушкин Н. В.**  
(*научный руководитель*)

*Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева  
(г. Красноярск)*

В статье раскрываются некоторые положения надежности, связанные со случайными величинами, функцией вероятности случайной величины и плотностью вероятности, применительно к авиационной технике (АТ).

*Ключевые слова:* функция распределения, надежность, вероятность, случайные величины, функция вероятности, плотность вероятности, эксплуатация АТ, жизненный цикл ЛА.

При изучении основ теории надежности, связанных с АТ, встречается ряд вопросов, которые вызывают определенные трудности у студентов.

Одним из них является вопрос, раскрывающий функцию распределения случайной величины.

Рассмотрим его с позиции взаимосвязи функции распределения случайной величины с надёжностью изделий авиационной техники.

Внезапные отказы определяются случайными неблагоприятными сочетаниями нескольких факторов, а также случайных внешних воздействий, превышающих возможности изделия к их восприятию.

Случайность связана с тем, что причины случившегося события остаются для нас скрытыми.

Например, рассеяние ресурсов по критерию усталости (оцениваемое отношением наибольшего ресурса к наименьшему) для подшипников достигает 40, для зубчатых передач – 10...15.

Рассеяние ресурсов по износу также весьма значительно. Существенное рассеяние имеют действующие нагрузки, механические характеристики материалов и деталей, зазоры и натяги, которые при изготовлении получаются как разности сопрягаемых размеров.

Поэтому в расчетах надежности многие параметры должны рассматриваться случайными величинами, т. е. такими, которые могут принять то или иное значение, неизвестное заранее. Они могут быть непрерывного или прерывного (дискретного) типа.

Для каждого числа  $x$  в диапазоне  $X$  изменения случайной величины существует определенная вероятность  $P(X < x)$ , что  $X$  не превосходит  $x$ .

Эта зависимость  $F(x) = P(X < x)$  называется функцией распределения или функцией вероятности случайной величины  $x$ .

Функция  $F(x)$  является неубывающей функцией  $x$  (монотонно возрастающей для непрерывных процессов и ступенчато возрастающей для дискретных процессов). В пределах изменения случайной величины  $X$  она изменяется от 0 до 1.

Производная от функции распределения по текущей переменной  $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$  называется плотностью распределения.

Она характеризует частоту повторений данного значения случайной величины. В задачах надежности она широко используется как плотность вероятности. В ряде случаев достаточно характеризовать распределение случайной величины некоторыми числовыми значениями, такими как математическое ожидание (т. е. среднее значение), мода и медианой, которые характеризуют положение центров группирования случайных величин по числовой оси, дисперсией, средним квадратическим отклонением и коэффициентом вариации, характеризующими рассеяние случайно величины (рис. 1).

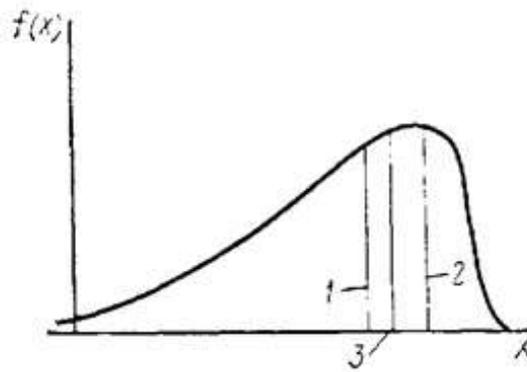


Рисунок 1 – Плотность вероятности и числовые характеристики центров группирования случайной величины: 1 – медиана; 2 – мода; 3 – математическое ожидание

Любая случайная величина  $x$  характеризуется:

1. Диапазоном её значений  $[A, B]$ .
2. Функциями распределения  $F(X)$  и  $f(x)$  в этом диапазоне.

При каждом  $x$ :

$$F(x) = \text{Вер} (X < x) = P (X < x).$$

С точки зрения статистического определения вероятности при достаточно большом числе реализаций  $x$  в испытаниях

$$P (X < x) = \omega (X < x),$$

где  $\omega (X < x)$  – доля тех реализаций случайной величины  $x$  в данных испытаниях, в которых  $X$  была меньше какого конкретного  $x$ .

Например, если в данных испытаниях  $X$  была меньше  $x$  в 70% реализаций, то  $\omega (X < x) = 0.7$ .

При увеличении количества испытаний  $N$  величина  $\omega$  уточняется, при этом она, как к пределу стремится к точному значению вероятности  $P (X < x)$ , т. е.:

$$\begin{aligned} \omega (X < x) &\rightarrow P (X < x), \text{ при } N \rightarrow \infty, \text{ или} \\ \omega (x) &\rightarrow P (X < x), \text{ при } N \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Эксплуатация, являясь одним из этапов жизненного цикла летательного аппарата, подразделяется на периоды нормальной эксплуатации и постепенных отказов (рис. 2).

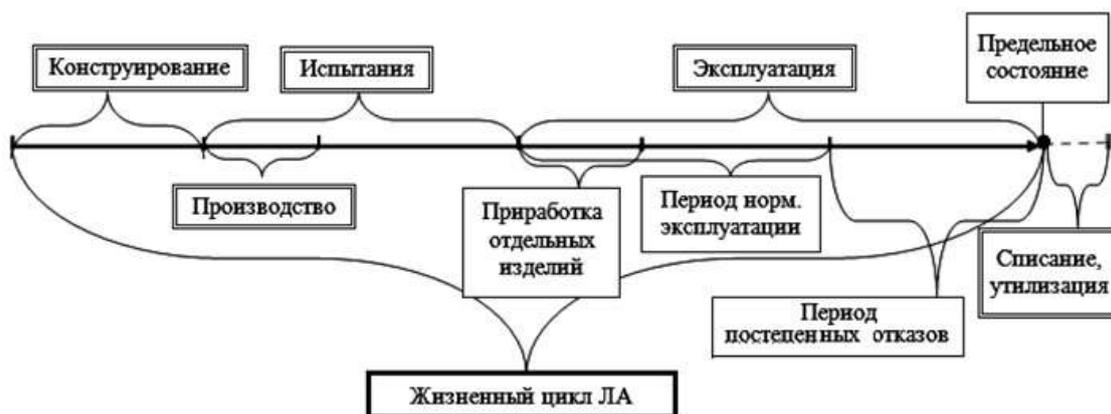


Рисунок 2 – Жизненный цикл летательного аппарата

Применим функцию распределения для расчёта надёжности летательного аппарата из условия что  $(X < x_i)$ , то есть диапазон  $X$  всегда должен быть меньше какого-то значения  $x$  (см. выше). При этом примем диапазон  $X$  (AB) за период нормальной эксплуатации изделия.

В период постепенных отказов – отрезок BC (составляющий, примерно, 25–30% от назначенного ресурса) из-за постепенной усталости, старения, влияния климатических условий изделие переходит в более напряжённый период, и частота появления отказов значительно возрастает. То есть точкой B заканчивается диапазон  $X$ , и в дальнейшем возможно появление какого-то отказа  $x_i$  с определённой вероятностью. Но это не означает, что отказ появится только в период постепенных отказов. Он может появиться в любой момент эксплуатации.

Необходимо также напомнить математическое выражение, связывающее вероятность безотказной работы  $P(t)$  с вероятностью отказа  $Q(t)$ :

$$P(t) + Q(t) = 1.$$

В соответствии с этим выражением, в начале периода постепенных отказов (BC) вероятность появления  $x_i$  – вероятность отказа равна 0.1, а вероятность безотказной работы  $P(t) = 0.9$  ( $x_{n+1}$ ).

В конце периода постепенных отказов (BC) вероятность появления отказа  $x_i$  – ( $x_{n+9}$ )  $Q(t) = 0.9$ , а вероятность безотказной работы  $-P(t) = 0.1$

Выразим это графически (рис. 3).

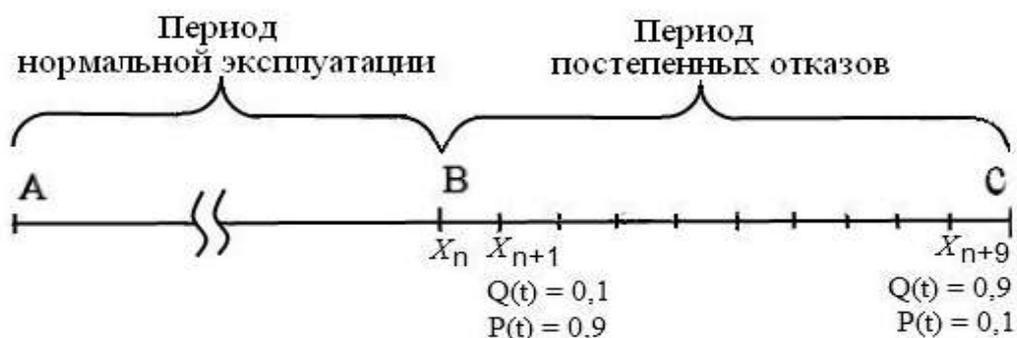


Рисунок 3 – Вероятность появления отказа в период эксплуатации

Такое представление условия функции распределения позволяет правильно его понимать, а значит, и грамотно, точно выполнять расчёты надёжности изделий авиационной техники в период эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Решетов, Д. Н. Надёжность машин [текст] / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев. – М.: Высшая школа, 1988. – С. 141–152.
2. Долгин, В. П. Надёжность технических систем: учебное пособие / В. П. Долгин, А. О. Харченко. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 167 с.
3. Малофеев, С. В. Надёжность технических систем. / С. В. Малофеев, А. И. Копейкин. – Москва: «Лань», 2012. – 320 с.
4. Дорохов, А. Н. Обеспечение надёжности сложных технических систем [текст] / А. Н. Дорохов, В. А. Керножицкий, А. Н. Миронов, О. Л. Шестопалов. – Москва: «Лань», 2011. – 352 с.
5. Лукасов, В. В. Основы теории надёжности: учебное пособие / В. В. Лукасов. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т., 2016. – 117 с.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И АВИАЦИОННЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА:  
НА ПРИМЕРЕ АН-74-200**

**Ильичев А. И.**  
*alex.ilichev37@gmail.com*

**Бурнашев В. Е.**  
(научный руководитель)

*Якутское авиационное техническое училище гражданской авиации (колледж) –  
филиал Санкт-Петербургского государственного университета  
гражданской авиации»,  
(г. Якутск)*

Данная статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме эксплуатации летательных аппаратов и двигателей в условиях Крайнего Севера. На примере самолета АН-74-200 показывается, как производится эксплуатация данного воздушного судна при низких температурах.

*Ключевые слова:* эксплуатация и обслуживание воздушного судна, воздушный транспорт.

Просторы Крайнего Севера все время притягивали человека. Люди восторгаются неповторимыми арктическими красотами, изучают и осваивают Север. Арктика привлекает внимание не только романтиков, но и учёных, инвесторов, туристов. Еще в далеком 1935 году экипаж С. Леваневского, Г. Байдукова и В. Левченко должен был совершить полет из СССР в США через Северный Полюс, но из-за неисправности самолета полет был отменен. Лишь в 1937 году 18 июня советские летчики В. Чкалов, Г. Байдуков и А. Беляков на борту самолета АНТ-25 покинули подмосковный аэродром в Щелково и взяли курс на Северный Полюс. 20 июня в 19 часов 30 минут по московскому времени самолёт совершил благополучную посадку на военном аэродроме Баракс в пригороде Портленда – американском городе Ванкувер. В 1942 году началась массовая перегонка самолетов по ленд-лизу из США в СССР по трассе Аляска–Сибирь. За весь период перегонки пилотам, ученым и техникам приходилось бороться со многими проблемами, например, с обледенением, сопровождающимся изменением работы двигателя, связанной со сгущением масла. Для устранения

неполадок были разработаны специальные жидкости, которые позволяли воздушному судну нормально работать в условиях Крайнего Севера [1].

Целенаправленное развитие и становление полярной авиации произошло в советское время и, увы, понятие «полярная авиация» исчезло в нашей стране с момента распада СССР. Именно поэтому складывается такое ощущение полной заброшенности авиации на Крайнем Севере. Однако в настоящее время на всём протяжении российской Арктики происходит восстановление аэропортов, обновляется техника. В наше время в северных регионах происходит медленное восстановление аэропортов и аэродромов, постепенно пополняется воздушный парк. Но зачастую эксплуатируются старые ВС, закупаются зарубежные или бывшие в употреблении суда, что негативно сказывается на развитии отечественного авиапрома.

Практически полностью отсутствуют отечественные разработки современных, топливно-эффективных (экономически выгодных) и готовых к массовому изготовлению воздушных судов для эксплуатации в условиях Крайнего Севера, поэтому часто используемыми ВС являются такие самолеты как Ан-3Т, Ан-24, Ан-26, Ан-72 и Ан-74 и другие [2].

Данная статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме эксплуатации летательных аппаратов и двигателей в условиях Крайнего Севера. На примере самолета Ан-74-200 [3] хотелось бы показать, как производится эксплуатация данного воздушного судна в столь суровых условиях. Ан-74 был разработан и предназначен специально для эксплуатации в суровых климатических условиях с температурой воздуха на аэродромах до минус 60 градусов.

Самолет допущен к ведению визуальной ледовой разведки, перевозке грузов и пассажиров, выполнению специальных работ при организации дрейфующих научных станций и обеспечению научно-исследовательских работ в центральном Арктическом бассейне. Согласно РЛЭ ч. 1 раздел 2 п. 2.2 разрешается выполнение полетов в районах Северного полушария на широтах до 90°, в районах Южного полушария до полярных широт. Так же согласно РЛЭ ч.1 раздел 2 п. 2.2.5, самолет предназначен для посадки на сухую, влажную, мокрую и обледеневшую взлётно-посадочную полосу ( $\mu > 0.3$ ); ледовую и снежную (температура снега не выше  $-5^{\circ}\text{C}$  при эксплуатационной прочности снега в соответствии с данными см. рис. (в том числе покрытая слоем свежеснежавшего снега не более 150 мм) для масс до 34,8 т и увеличенной прочности снежного покрова на  $1 \text{ кг/см}^2$  для масс более 34,8 т).

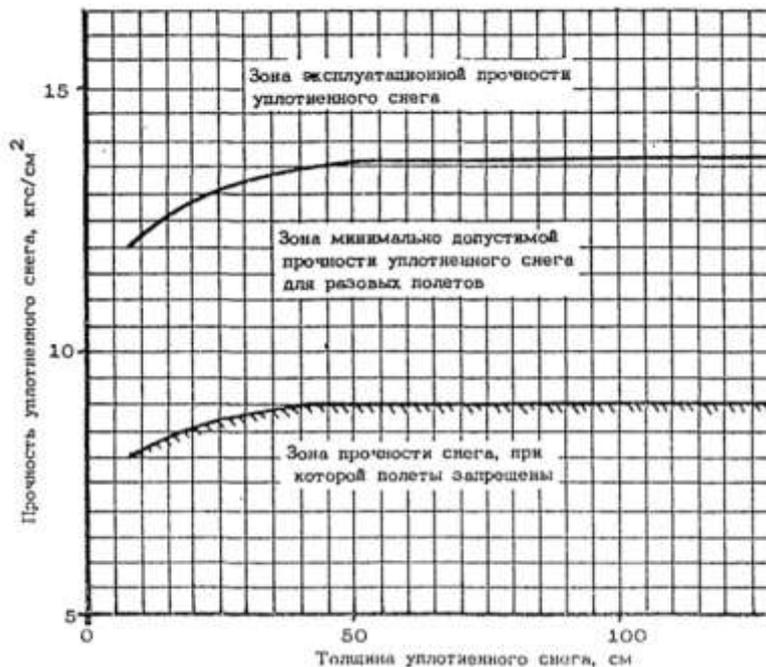


Рисунок 1 – Зависимость прочности уплотненного снега от толщины уплотненного снега

При полете в условиях обледенения на режимах работы двигателей, соответствующих 60–70° по ИП-33, необходимо через каждые 3–5 мин полета в зоне обледенения увеличивать режим работы двигателям до режима, соответствующего  $n = 62,5–65,0\%$  на время 3–5 с. Согласно РЛЭ, раздел 4 п. 4.21, во время захода на посадку в условиях обледенения, перед входом в глиссаду, необходимо увеличить режим работы двигателей до  $n = 62,5–65,0\%$  на 3–5 с при температуре наружного воздуха выше минус 10°С. Также нужно уделять особое внимание температуре масла, так как минимально допустимая температура перед запуском составляет минус 40°С, а при более низких температурах двигатель перед запуском, согласно РЛЭ, следует подогреть.

При использовании зарубежных масел разрешается производить запуск двигателей без предварительного подогрева, если температура масла на входе в двигатель по бортовому указателю не ниже минус 30°С.

Так же стоит выделить характерные особенности эксплуатации самолета на покрытых снегом и ледовых ВПП. При рулении на снежной и ледовой ВПП необходимо учитывать уменьшение эффективности управления передней опоры шасси и тормозов, а также увеличение минимального радиуса разворота из-за малого коэффициента сцепления по сравнению с движением самолета по сухой ВПП. Согласно разделу 4 п. 4.21 РЛЭ ч.1, для страгивания самолета

с места необходимо использовать повышенный режим работы двигателей, нельзя допускать остановки самолета, нельзя допускать разворотов с малым радиусом, торможение колес применять только в крайних случаях, а также необходимо изменять режим двигателей плавно, руление выполнять на скорости, обеспечивающей безопасную остановку.

В этом разделе предусмотрены особенности при разбеге и посадке, в которых говорится, что для уменьшения нагрузки на переднюю опору шасси необходимо произвести её разгрузку, не допуская преждевременного отрыва от ВПП, подъем передней опоры шасси необходимо производить на скорости, выравнивание и приземление необходимо производить как при обычной посадке, после приземления переднюю опору шасси необходимо плавно опустить на ВПП.

Немаловажную часть в статье занимает борьба с обледенением ВС. Удаление льда с поверхности ВС, из воздухозаборных устройств производят после удаления с них снега с помощью волосяных щеток, метел, резиновых скребков. Тепловые обдувочные и обливочные машины располагают не ближе 3,5 метров от ближайших точек ВС. После обдува самолета с помощью тепловой обдувочной машины производится обработка поверхностей ВС противообледенительной жидкостью. При удалении льда с поверхности самолета применяется обработка жидкостью (ПОЖ) по принципу «сверху вниз».

В РЛЭ указывается, что удаление льда начинается с высокорасположенных участков поверхности. Жидкость, стекая с этих участков на нижние, продолжает «работать», удаляя лед и создавая защитную пленку. Для крыла и горизонтального оперения обработка проводится от концевых участков к корневым, от передней кромки к задней. В местах расположения элеронов и рулей высоты, наоборот, удаление льда производится в направлении к передней кромке крыла и стабилизатора, чтобы предотвратить затекание жидкости в узлы подвески.

Обработка самих элеронов и рулей высоты ведется по направлению к их задней кромке. Вертикальное оперение обрабатывается жидкостью, начиная с верхней его части. Фюзеляж опрыскивается жидкостью также сверху вдоль его осевой линии. Прямого облива окон фюзеляжа рекомендуется избегать. Тщательное удаление льда в верхней части фюзеляжа особенно необходимо для ВС с двигателями, расположенными в хвостовой части. Удаление льда и снега с воздухозаборников двигателей, а также с элементов самих двигателей рекомендуется производить нагретым воздухом или

механическим способом. Во время обработки должны быть приняты меры предосторожности для обеспечения минимального попадания жидкости в двигатель, в различные входные и выходные отверстия и ниши поверхностей управления.

При обработке ВС необходимо избегать прямого попадания жидкости на тормоза, колеса, выхлопные патрубки, реверсивное устройство. Не допускается попадание жидкости на приемники полного давления, на статические отверстия, датчики углов атаки, а также другие датчики приборов и оборудования, находящихся на внешней поверхности самолета. Удаление льда в отсеках шасси производится механическим способом или нагретым воздухом. При попадании ПОЖ на стекла кабины пилотов остатки жидкости удаляются мягкой ветошью.

Наибольшую опасность для самолетов с хвостовым расположением двигателей представляет «топливное обледенение» верхней поверхности корневой части крыла, где обычно располагаются топливные баки. Толщина льда может превышать 15 мм, а площадь может быть очень значительной. Такой лед бывает, как правило, прозрачным и его трудно обнаружить. Для удаления «топливного льда» или инея, образующегося в зоне расположения топливных баков, применяется ПОЖ, соответствующая требованиям аэродинамической пригодности.

В условиях замерзающих осадков или по причине задержек вылета, когда время действия ПОЖ истекает, производится повторная обработка. При проведении повторной обработки вначале полностью очищается поверхность самолета с помощью нагретой ПОЖ от предыдущего слоя жидкости, разбавленного выпадающими осадками, а затем наносится новый слой ПОЖ. После обработки ВС ПОЖ выполняются следующие профилактические мероприятия: внимательный осмотр ВС, проверка его работоспособности и герметичности, проверка механизации. По окончании осмотра оформляется соответствующая документация (карта-наряд и дополнение к карте-наряду).

Дискуссионным продолжает оставаться вопрос о работе двигателей в условиях Крайнего Севера. Трудно поверить в то, что в столь суровых условиях инженерам и техникам удастся сохранять двигатели в нормальном и рабочем состоянии. Для работы двигателей применяются топлива РТ, ТС-I (ГОСТ 10227-86) без противокристаллизационных (ПВК) жидкостей. Допускается смешивание указанных марок топлива в любых соотношениях и применение топлива с присадкой «СИГБОЛ» [4].

Разрешается применение указанных топлив с ПВК жидкостями:

«И» (ГОСТ 8313-88) – малоэтиловый эфир этиленгликоля или этилцеллозоль, бесцветная прозрачная жидкость со слабым эфирным запахом, замерзает при температуре ниже  $-70^{\circ}\text{C}$  [5].

«ТГФ» (ГОСТ 17477-86) – тетрагидрофурфуриловый спирт, бесцветная или светло-желтая жидкость с резким запахом [6]. Рекомендуются для использования в качестве антиобледенительной присадки топлив наравне с жидкостью «И» в тех же соотношениях [7].

Таким образом, поддержание нормального рабочего состояния летательных аппаратов и авиационных двигателей в условиях Крайнего Севера это трудный и кропотливый процесс, требующий внимательности и соблюдения правил, прописанных в руководстве по летной эксплуатации.

Вместе с тем, на основании вышеизложенного, стоит отметить, что современные воздушные суда проектируются с учетом эксплуатационных, природно-климатических особенностей Крайнего Севера. Разрабатываются улучшения для топливной и масляной системы, а именно, идет обеспечение подогрева топлива и масла в системе, создаются более экономичные двигатели, разрабатываются новые навигационные приборы и печатаются новые карты погоды, позволяющие обходить опасные для полетов зоны. Благодаря этому, станут развиваться новые воздушные направления, а полеты по районам Крайнего Севера станут более доступны, безопасны и экономичны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Полярная авиация это... Что такое полярная авиация? [электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_tech/3090/Полярная](https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_tech/3090/Полярная) (дата обращения 28.11.2017). – Загл. с экрана.
2. Полярная авиация России. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pro-arctic.ru/16/05/2014/technology/8454> (дата обращения 28.11.2017). – Загл. с экрана.
3. Самолет АН-74-200. Руководство по летной эксплуатации. Книга 1. Утверждено 74.00.0000.000.000 РЛ-ЛУ. Издательство Министерства гражданской авиации. 200 г.
4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 10227-86 «Топлива для реактивных двигателей. Технические условия» Утверждено постановлением Государственного Комитета СССР по стандартам от 21 ноября 1986 г. № 3501 // СПС ГАРАНТ-Классик. По состоянию на 13 ноября 2017.

5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8313-88 «Этилцеллозольв технический. Технические условия» Утверждено постановлением Государственного Комитета СССР по стандартам от 1 января 1989 г. // СПС ГАРАНТ-Классик. По состоянию на 13 ноября 2017.
6. Межгосударственный стандарт ГОСТ 17477-86 «Спирт тетрагидрофурфуриловый. Технические условия» Утверждено постановлением Государственного Комитета СССР по стандартам от 8 мая 1986 г. №1186 // СПС ГАРАНТ-Классик. По состоянию на 13 ноября 2017.
7. Лейкин, А. Е. Авиационное материаловедение [текст] / А. Е. Лейкин, Э. С. Пороцкий, Б.И. Родин. М.: Машиностроение, 1964. – 459 с.

УДК 621.452

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ СТАТМОДЕЛИ ЭТАЛОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПД-14 ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ НА СВЧ-ПЛАЗМЕННОМ АНАЛИЗАТОРЕ**

**Дроков В. Вл., Калошин А. Е., Мурыщенко В. В.**

**Дроков В. Г.**  
(научный руководитель)

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт прикладной физики  
Иркутский государственный университет  
(г. Иркутск)*

Оценена возможность разработки статистической модели эталонного двигателя ПД-14 по результатам измерения параметров частиц на СВЧ-плазменном анализаторе. Построены распределения частиц по количеству. Рассчитаны граничные значения и дисперсия, построены корреляционные матрицы. Проведено сравнение статмоделей двигателей ПС-90А и ПД-14.

*Ключевые слова:* газотурбинный двигатель, диагностика, износ, частицы изнашивания, корреляционная матрица, СВЧ-плазменный комплекс.

Существует несколько подходов, с помощью которых возможно создание диагностической методики. Один из них заключается в том, что выявляются отличия «образа» диагностируемого двигателя от эталонного, среднестатистического исправного двигателя данного типа. При этом эталонный двигатель формируется на основании статистической обработки массива данных исправных двигателей, находящихся в эксплуатации. Различие

между эталонным и исследуемым двигателем сопоставляют вероятными изменениями его технического состояния [1].

Важным моментом при разработке принципов принятия диагностического решения является задача по установлению допустимых (граничных) значений, при которых возможна или невозможна дальнейшая эксплуатация двигателя. Очевидно, что реальным вариантом решения данной задачи являлся бы набор статистических данных как по исправным, так и по предотказным двигателям.

Имеется еще одна проблема, которой разработчики диагностических методик ранее не уделяли должного внимания: речь идет об исследовании законов распределения результатов измерения параметров частиц износа. От вида закона распределения зависят граничные значения по параметрам частиц износа.

Цель работы состоит в изучении законов распределения результатов сцинтилляционных измерений некоторых параметров для установления граничных значений при разработке статистической модели по параметрам частиц изнашивания двигателя ПД-14 при малых наработках.

Проведенные ранее исследования показали, что большинство распределений, полученных в результате сцинтилляционных измерений, хорошо описываются логнормальным распределением:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-(\ln x - x_0)^2 / 2\sigma^2}, \quad \int_0^{\infty} f(x) dx = 1. \quad (1)$$

Среднее значение  $\bar{x}$  и дисперсия  $D$  для логнормального распределения:

$$\bar{x} = e^{x_0 - \sigma^2/2}, \quad D^2 = e^{2x_0 + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1). \quad (2)$$

Вычислив среднее значение  $\bar{x}$  и стандартное отклонение  $D$  по выборке, можно найти параметры распределения:

$$x_0 = \ln \frac{\bar{x}}{\sqrt{1 + D^2/\bar{x}^2}}, \quad \sigma = \ln^{1/2}(1 + D^2/\bar{x}^2). \quad (3)$$

При проведении измерений, ввиду небольшого количества проб с данного типа двигателя, мы ограничились анализом только некоторых измеряемых параметров: числа частиц данного элемента (Al, Cr, Ni, Mg, Fe, Cu, Ag) в пробе и числа частиц некоторых сложных составов, наиболее часто встречающихся в пробе.

На рис. 1–2 представлены наблюдаемые распределения по числу частиц данного элемента. При имеющейся статистике можно лишь утверждать, что наблюдаемые распределения имеют достаточно пологий вид с длинным хвостом вправо. Из табл. 1 видно, что для всех параметров среднее значение

одного порядка с дисперсией. Это есть характерные особенности логнормального распределения, подтверждаемые из анализа.

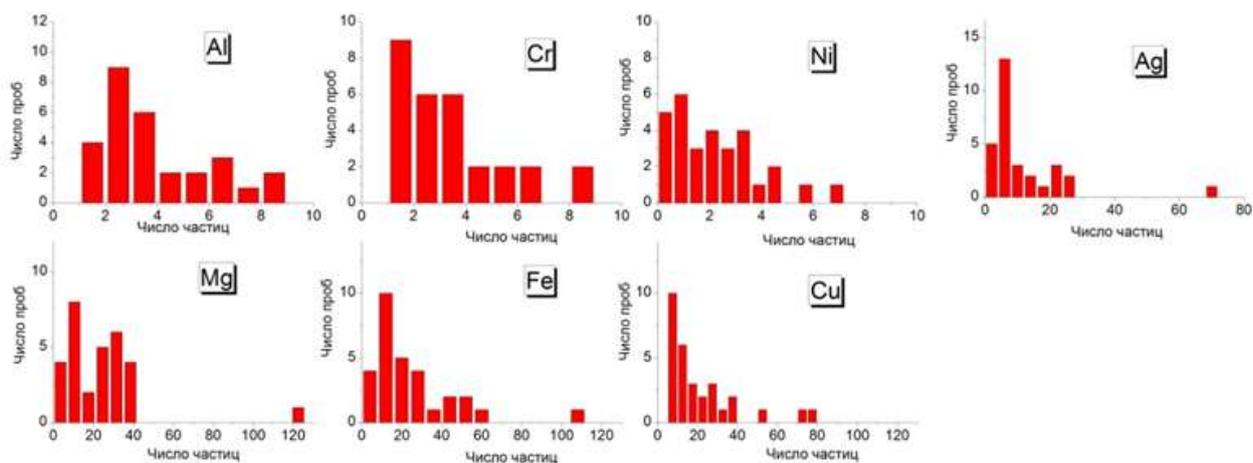


Рисунок 1 – Наблюдаемое распределение по числу частиц данного состава в пробе масла, слитого с коробки приводов. Полное число проб масла с двигателей ПД-14 равно 30

На рис. 1 изображены наблюдаемые распределения по логарифму числа частиц. Если предположение о логнормальном характере распределений верное, то распределения по логарифму числа частиц, изображенных на рис. 2, должны иметь гауссовский вид.

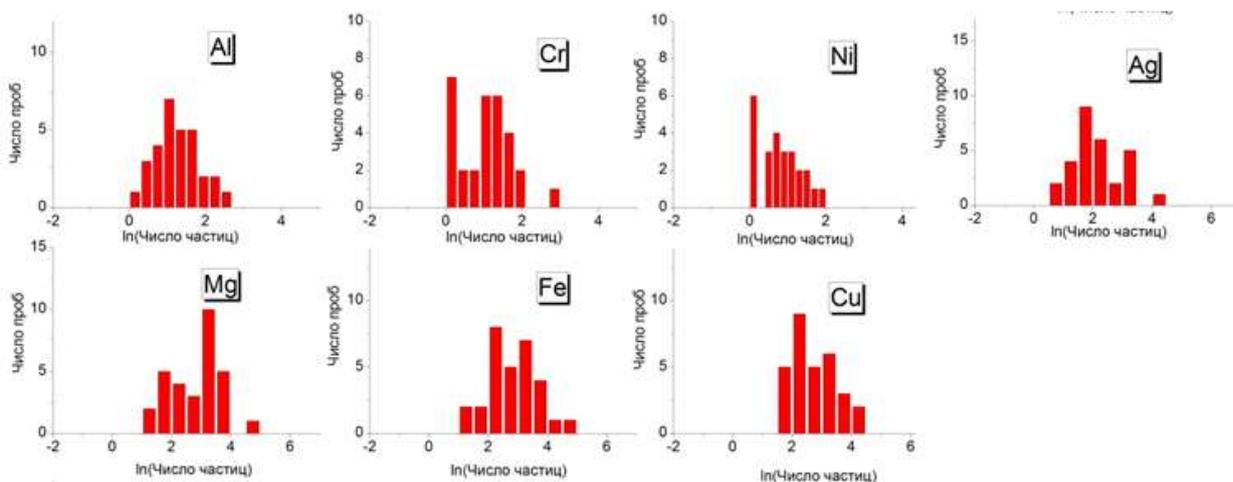


Рисунок 2 – Распределения по логарифму числа частиц для того же набора проб, что на рис.1. После перехода к логарифму числа частиц логнормальное распределение превращается в нормальное

Наблюдаемые распределения по числу частиц износа в первом приближении соответствуют логнормальному распределению. Для уточнения параметров модели необходима большая статистика по количеству проб, отобранных с КП.

В табл. 1 приведены результаты вычисления параметров распределений и граничных значений на уровне  $2\sigma$  и  $3\sigma$ . Более точно, правой  $2\sigma$  ( $3\sigma$ ) границей, мы называем величину параметра (в данном случае это число частиц в пробе), соответствующую накопленной вероятности 0.977 (0.9987).

Таблица 1 – Параметры распределений и граничные значения по числу частиц износа в пробе масла с КП\*

Состав	Среднее число частиц	Дисперсия	$2\sigma$ граница	$3\sigma$ граница
Fe	24.53	21.38	83.18	176.39
Mg	23.57	22.06	84.08	185.89
Cu	20.78	18.32	71.04	151.64
Ag	11.22	12.68	45.63	113.08
Al	3.98	2.48	10.63	18.84
Cr	3.53	2.97	11.67	24.24
Ni	2.18	1.64	6.64	12.94
-Cr-Fe	1.20	1.34	4.84	11.89
-Mg-Fe	1.10	1.35	4.73	12.33
-Cr-Ni-Fe	0.50	0.62	2.16	5.67
-Mg-Cu	0.42	0.59	1.96	5.62
-Cr-Ni	0.37	0.66	1.97	6.53
-Fe-Cu	0.20	0.42	1.16	4.24
-Ni-Fe	0.18	0.30	0.94	2.96
-Mg-Fe-Cu	0.17	0.32	0.93	3.26

\*22 пробы, поступившие в период выполнения данной работы, были дополнены 8 пробами, проанализированными ранее.

В табл. 2 приведены параметры распределений и граничные значения для числа частиц данного элемента и некоторых сложных составов в пробе с ФТО. Ввиду малой статистики, модель разрабатывалась по аналогии с пробой масла с КП.

Таблица 2 – Параметры распределений и граничные значения числа частиц двигателей ПД-14 для проб, взятых с ФТО. Предполагаются логнормальные распределения по числу частиц. Полное число проб равно 21

Состав	Среднее число частиц	Дисперсия	2 $\sigma$ граница	3 $\sigma$ граница
Mg	25.64	21.30	83.97	173.27
Fe	14.91	8.85	38.47	66.64
Cu	9.89	5.40	24.11	40.18
Ag	6.66	7.11	26.04	62.27
Al	5.07	3.50	14.54	27.16
Cr	2.91	2.47	9.67	20.18
Ni	2.43	1.65	6.90	12.78
-Mg-Fe	1.09	1.29	4.58	11.69
-Cr-Fe	0.64	0.71	2.57	6.31
-Cr-Ni	0.64	0.84	2.87	7.84
-Cr-Ni-Fe	0.43	0.74	2.27	7.33
-Mg-Cu	0.39	0.50	1.71	4.61
-Ni-Fe	0.18	0.32	0.97	3.18
-Mg-Fe-Cu	0.09	0.19	0.53	1.95
-Fe-Cu	0.05	0.14	0.30	1.43

Составы в табл. 1 и 2 рассортированы по среднему числу частиц в пробе. Сложные частицы других составов имеют малую вероятность появления в пробе, что не позволяет извлечь параметры распределения из-за недостаточной статистики. Полное число проб масла равняется 30 в табл. 1 и 21 в табл. 2.

Данные, показанные в табл. 1 и 2, показывают, что среднее число частиц и дисперсия по элементам – величины одного порядка, что нехарактерно для такой ситуации (разные точки отбора). Возможно, существенное влияние оказывает несовершенство технологии извлечения частиц с ФТО.

По результатам проведенных сцинтилляционных измерений можно построить корреляционные матрицы по числу частиц износа разных элементов. Удобно вместо числа частиц использовать логарифм числа частиц, чтобы сделать распределения, близкими к нормальным. Результаты представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3 – Корреляционная матрица по ln (число частиц данного элемента), построенная по результатам сцинтилляционного анализа проб, взятых из коробки приводов двигателя ПД-14. Полное число проб равно 30

	Al	Cr	Ni	Mg	Fe	Cu	Ag
Al	1.00	0.23	0.37	0.49	0.44	0.24	0.39
Cr	0.23	1.00	0.20	0.49	0.51	0.42	0.14
Ni	0.37	0.20	1.00	0.15	-0.07	-0.21	0.02
Mg	0.49	0.49	0.15	1.00	0.72	0.14	0.25
Fe	0.44	0.51	-0.07	0.72	1.00	0.48	0.52
Cu	0.24	0.42	-0.21	0.14	0.48	1.00	0.31
Ag	0.39	0.14	0.02	0.25	0.52	0.31	1.00

Характерной особенностью этой корреляционной матрицы является наличие больших положительных корреляций «каждый с каждым». Подобное свойство было ранее отмечено для других типов авиационных двигателей, в частности для Д-30КП/КУ/КУ154 и ПС-90А.

Таблица 4 – Корреляционная матрица, построенная по логарифму числа частиц данного элемента в пробе в ФТО. Полное число проб равно 21

	Al	Cr	Ni	Mg	Fe	Cu	Ag
Al	1.00	0.09	0.33	<b>0.66</b>	<b>0.53</b>	0.26	0.18
Cr	0.09	1.00	<b>0.45</b>	0.19	0.10	0.14	0.10
Ni	0.33	<b>0.45</b>	1.00	0.12	-0.09	0.09	0.02
Mg	<b>0.66</b>	0.19	0.12	1.00	<b>0.70</b>	-0.03	0.11
Fe	<b>0.53</b>	0.10	-0.09	<b>0.70</b>	1.00	0.29	<b>0.48</b>
Cu	0.26	0.14	0.09	-0.03	0.29	1.00	0.30
Ag	0.18	0.10	0.02	0.11	<b>0.48</b>	0.30	1.00

Вид корреляционной матрицы значительно отличается от таковой для двигателей Д30КП/КУ/КУ-154, ПС-90А. Здесь необходимы дальнейшие исследования с целью создания надежной методики диагностики для данного типа двигателей.

В табл. 5 приведена статистическая модель по основным параметрам исправного двигателя ПС-90А, построенная по результатам анализа проб масел, отобранных с коробки приводов. Количество проб, использованных для построения модели, составило 762.

Таблица 5 – Статистическая модель по пробам, отобранным с коробки приводов двигателя ПС-90А

Состав	Среднее число частиц, см <sup>-3</sup>	Дисперсия	2σ граница	3σ граница
Mg	19.59	12.93	58.8	112.6
Fe	9.75	6.55	28.2	52.9
Cu	21.94	20.1	85.6	203.1
Ag	5.7	8.3	26.0	75.5
Al	2.0	1.59	7.27	15.63
Cr	1.0	0.8	2.79	5.05
Ni	1.0	0.79	3.13	5.89
Mg-Fe	2.49	1.7	6.7	12.05
Cr-Fe	1.1	0.33	1.72	2.16
Fe-Cr-Ni	1.1	0.29	1.64	2.01
Mg-Cu	1.24	0.4	2.1	2.78
Ni-Fe	1.17	0.37	1.88	2.43
Mg-Fe-Cu	1.0	0.2	1.39	1.61
Fe-Cu	1.3	0.94	2.57	3.82

Сравнивая по среднему числу частиц данные, приведенные в табл. 5, с результатами табл. 1 и 2 видно, что по порядку величины среднее количество частиц для двигателей ПД-14 и ПС-90А совпадают. Наблюдаются близкие значения по границам 2σ и 3σ в случае, когда дисперсия результатов по параметрам частиц не слишком отличаются друг от друга. При этом, величины дисперсий результатов по ПД-14 для большинства параметров превышают величину дисперсии для ПС-90А. Соответственно, для ПД-14 граничные значения выше по предотказному состоянию двигателя.

Отметим, что большой разброс результатов (дисперсии) при измерении параметров частиц износа в ПД-14 по сравнению с ПС-90А может быть связан не только с недостаточным объемом статистического материала, но и малой наработкой двигателя, при которой, зачастую, за счет приработки наблюдаются повышенные параметры частиц. Кроме того, величина дисперсии зависит от погрешности используемого метода.

Таким образом, полученные результаты (табл. 1–4) можно сформулировать следующим образом:

- проведен корреляционный анализ имеющихся проб. Выявлено качественное отличие корреляционной матрицы по сравнению с другими типами двигателей;

– обнаружено, что проба с фильтра тонкой очистки по основным характеристикам ближе к пробе масла, нежели к пробе смыва с маслофильтра. Это требует дальнейшего изучения и уточнения способа взятия пробы;

– сравнение результатов анализа параметров частиц с ПД-14 (табл. 1–2) и ПС-90А (табл. 5) показывает схожие величины количества частиц и дисперсии в обоих двигателях. Разница лишь в том, что представленная статистика по ПС-90А есть усредненная по множеству двигателей с совершенно различными наработками (0–500 ч), а ПД-14 – с малыми наработками (5–180 мин). Это позволяет сделать вывод, что детали ПД-14 даже при стендовых испытаниях (т. е. на этапе приработки) менее подвержены износу, что косвенно свидетельствует о высоком качестве его изготовления.

Отсюда следует, что для повышения достоверности принятия диагностического решения необходимо провести работу в следующих направлениях:

– необходимо увеличение статистического материала с двигателей с различной наработкой для построения статистической модели исправного двигателя;

– выяснение источников погрешностей и способов их снижения при сцинтилляционных измерениях параметров частиц изнашивания;

– с увеличением набора статистического материала продолжить сравнительное изучение эталонных моделей ПД-14 и ПС-90А.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кеба, И. В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей [текст] / И. В. Кеба. – М.: Транспорт, 1980. – 246 с.

## **ИНСТРУМЕНТЫ МНОГОАСПЕКТНОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ АВИАТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

**Еохин О. А., Ли А. В., Мартышкин А. В.**

**Чокоей В. З.**

*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*

*Московского государственного технического университета*

*гражданской авиации*

*(г. Иркутск)*

В статье рассмотрены примеры интерфейсных решений по расчетно-аналитическим инструментам параметрической и непараметрической оценки показателей надежности объектов авиатранспортных систем. Представлен краткий обзор функциональных возможностей рассматриваемого комплекта инструментов.

*Ключевые слова:* надежность, безотказность, долговечность, инструментальная оболочка, объект, параметрическая оценка, непараметрическая оценка.

Для отечественных авиакомпаний в последние годы характерны: широкое использование современных воздушных судов, преимущественно зарубежного производства, оснащенных сложными комплексами оборудования; вынужденная эксплуатация устаревших воздушных судов, преимущественно отечественного производства, имеющих значительный износ конструкции и оборудования; интенсификация эксплуатации парка воздушных судов, вызванная лимитом воздушных судов и растущим спросом на авиаперевозки.

Очевидно, что данные обстоятельства не должны негативно сказываться на безопасности полетов и экономической состоятельности авиакомпаний. В сложившихся условиях становится весьма актуальной задача эффективного управления надежностью авиационной техники, которая непосредственно влияет как на безопасность полетов, так и на экономику авиаперевозчиков. Из этого следует, что для решения отмеченной задачи эксплуатирующим организациям и отраслевым образовательным учреждениям нужны: квалифицированный авиаперсонал; корректные методики мониторинга, оценки и прогнозирования надежности; программные и аппаратные средства мониторинга, оценки и анализа данных.

В рамках обозначенного направления в Иркутском филиале МГТУ ГА в течение ряда лет ведется работа по формированию математического и программного обеспечения для оценки, анализа и прогнозирования процессов, характерных для авиатранспортных систем. Речь идет о расчетно-аналитическом модуле МОДЕЛЬЕР, одном из 11, составляющих комплекс ПИОНЕР.

Головная панель модуля МОДЕЛЬЕР (рис. 1) имеет интерфейсные решения, характерные для windows-приложений расчетно-информационного характера. Всего в модуле 112 инструментальных оболочек. Инструменты по оценке надежности представлены, в основном, в группе «Надежность систем» головного меню. Из данной группы пользователю доступны инструменты для решения типовых задач параметрической и непараметрической оценки показателей безотказности, сохраняемости, ремонтпригодности и долговечности [1].

Пример параметрической оценки надежности для случаев нормального и логнормального распределений представлен на рис. 2. Из данных на рисунке следует, что необходимые исходные данные вводятся с клавиатуры в соответствующие редактируемые поля, а результаты решения – на графики. Для управления данными на панели инструментальной оболочки предусмотрены кнопки: запуска решения, включения курсора-визирки, масштабирования графика, распечатывания графика на принтере и записи его в файл.

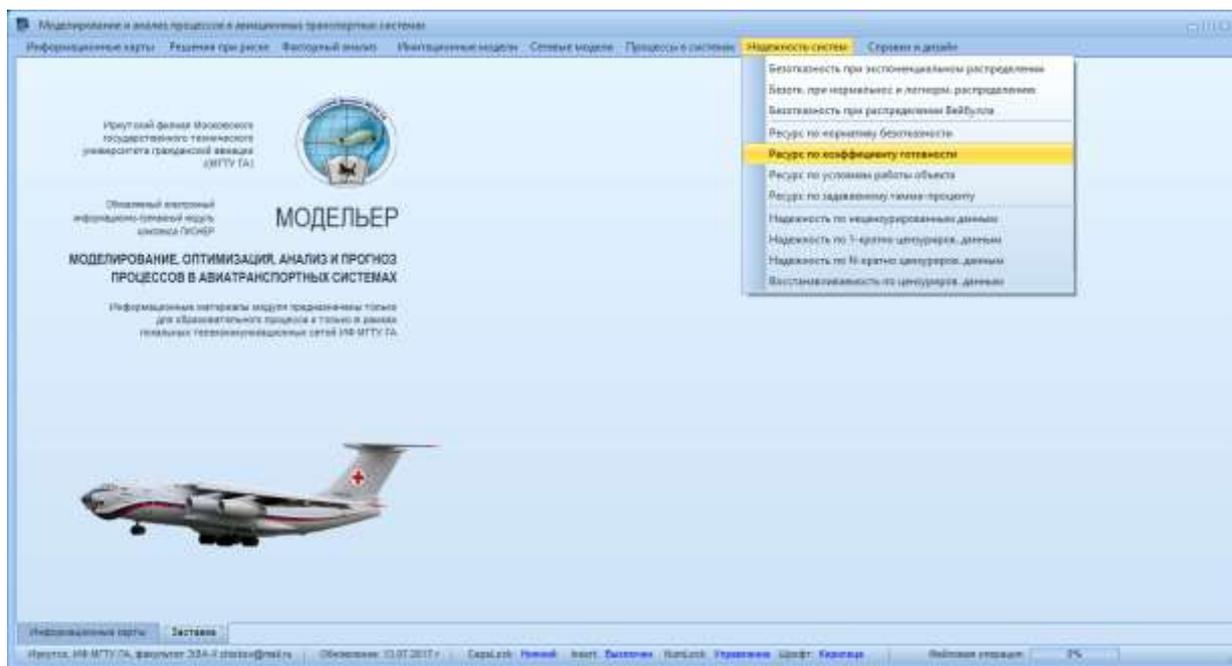


Рисунок 1 – Головная панель и головное меню модуля МОДЕЛЬЕР

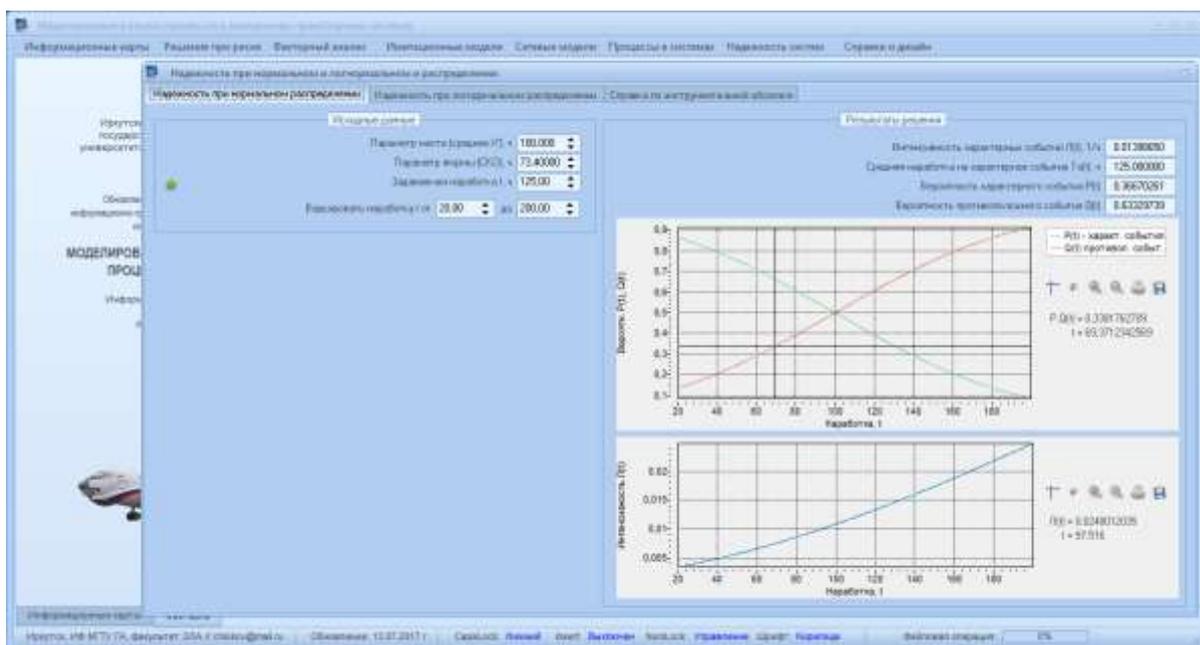


Рисунок 2 – Пример инструмента «Надежность при нормальном и логнормальном распределении»

Сходные интерфейсные решения использованы в инструменте для параметрической оценки надежности в случае распределения Вейбулла (рис. 3).

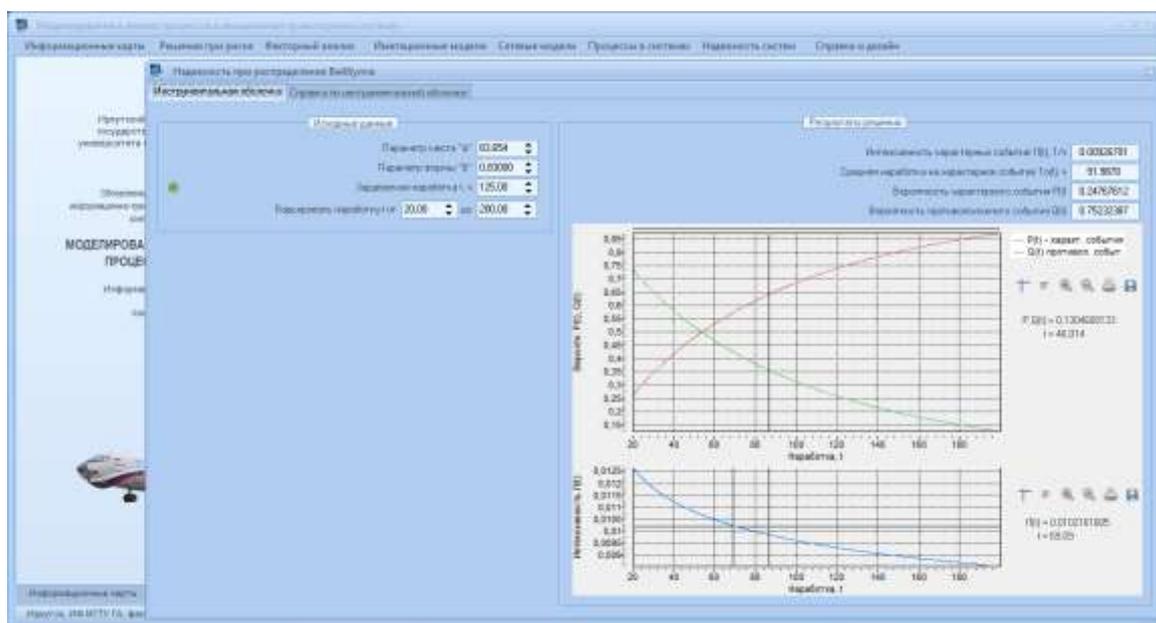


Рисунок 3 – Пример инструмента «Надежность при распределении Вейбулла»

Примеры параметрической оценки показателей долговечности (ресурса, срока службы) объектов, исходя из известной нормы безотказности и из задаваемого гамма-процента, представлены на рис. 4 и 5.

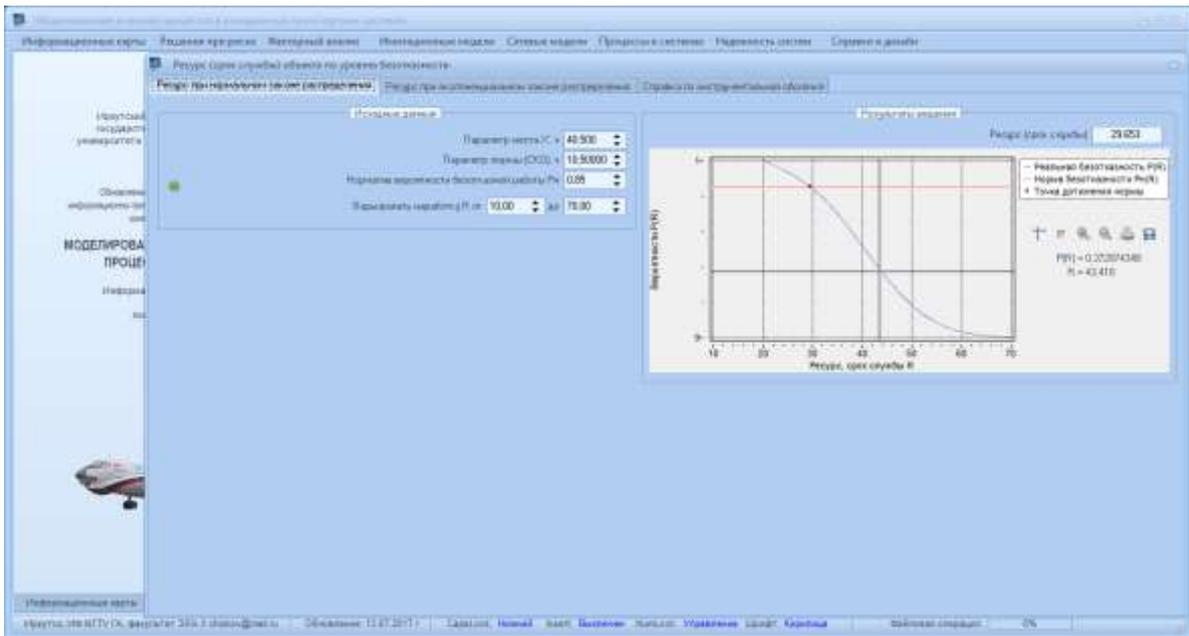


Рисунок 4 – Пример инструмента «Ресурс по уровню безотказности»

В модуль МОДЕЛЬЕР включен и ряд инструментов для параметрической оценки комплексных показателей надежности, например, коэффициентов готовности и технического использования объекта (рис. 5).

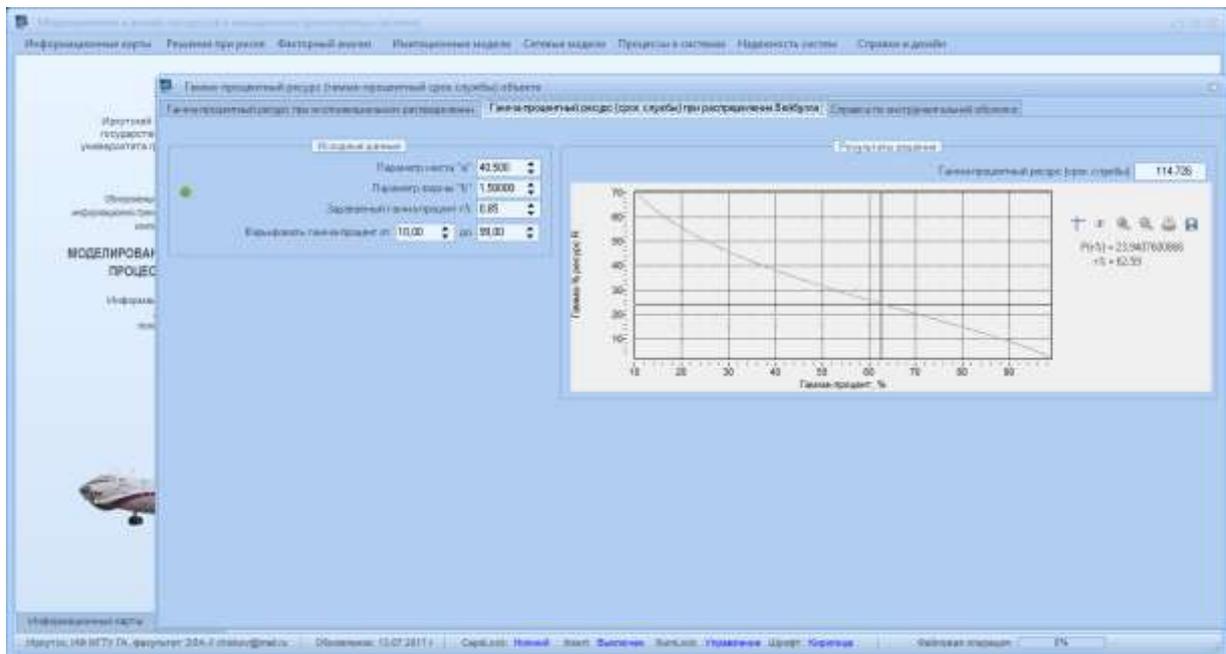


Рисунок 5 – Пример инструмента «Гамма-процентный ресурс»

Примеры использования инструментальных оболочек для непараметрической оценки показателей надежности (как по нецензурированным, так и по цензурированным исходным данным)

показаны на рис. 6, 7 и 8. В этих инструментах необходимые исходные массивы могут вводиться в таблицы или с клавиатуры, или из заранее подготовленных файлов. Результаты решения выводятся в отдельные числовые поля, в графики, а также в таблицы.

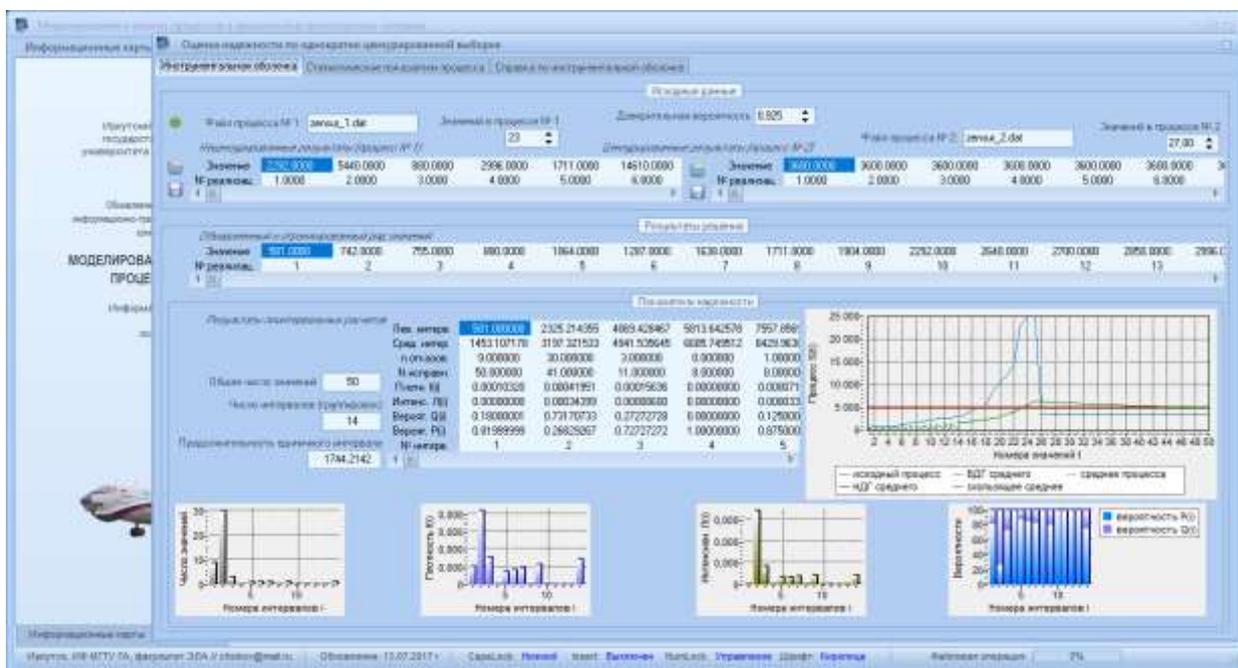


Рисунок 6 – Пример инструмента «Оценка надежности по однократно цензурированной выборке»

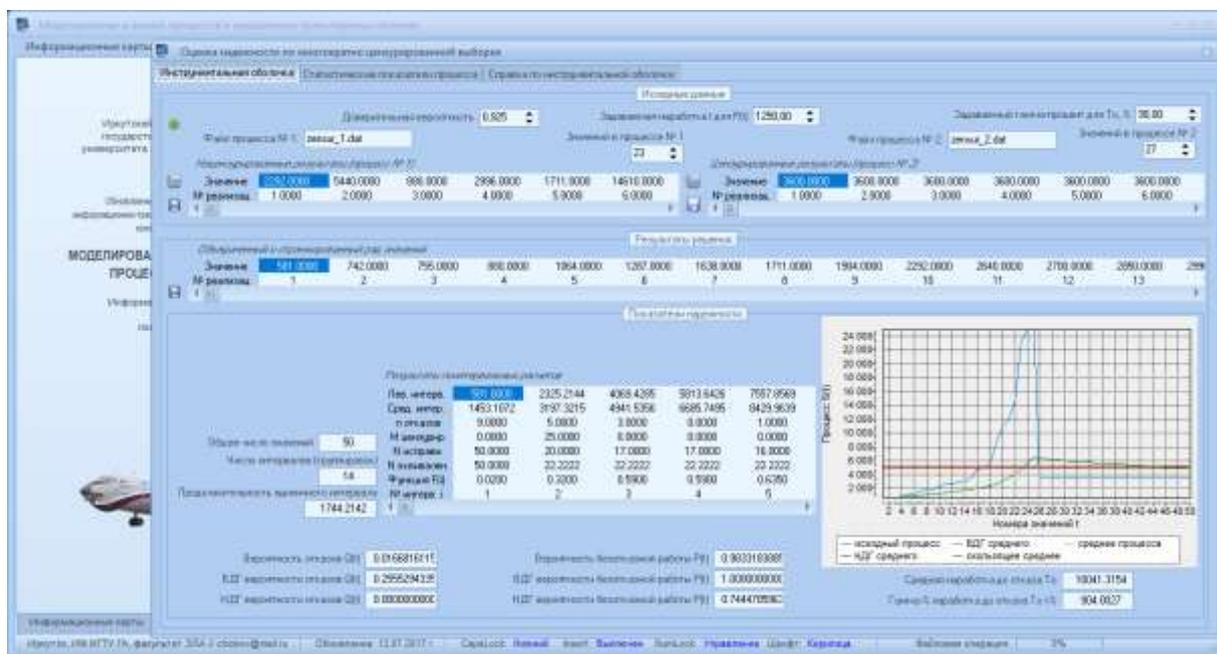


Рисунок 7 – Пример инструмента «Оценка надежности по многократно цензурированной выборке»

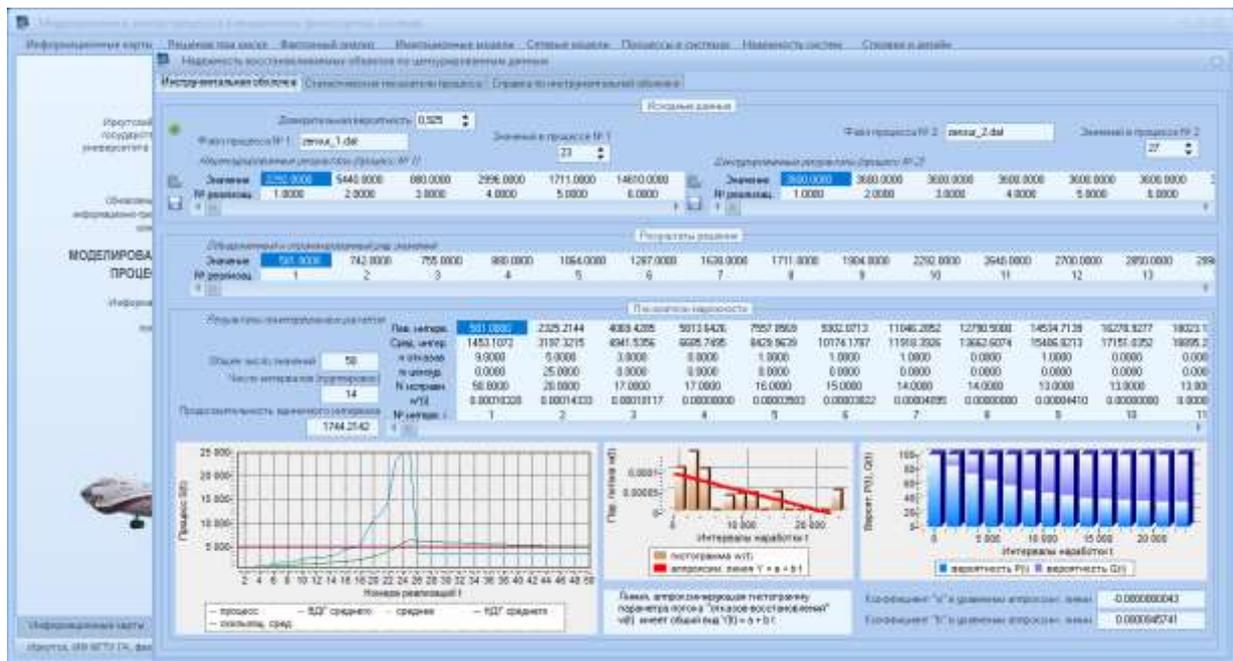


Рисунок 8 – Пример инструмента «Надежность восстанавливаемых объектов по цензурированным данным»

Использование рассмотренных инструментов требует достаточно сложно формируемых исходных данных. Для формирования таких данных предусмотрены дополнительные инструментальные оболочки. Примеры использования некоторых из них представлены на рис. 9, 10, 11. Так, на рис. 9 показан пример визуального подбора для эмпирической выборки адекватного теоретического распределения.

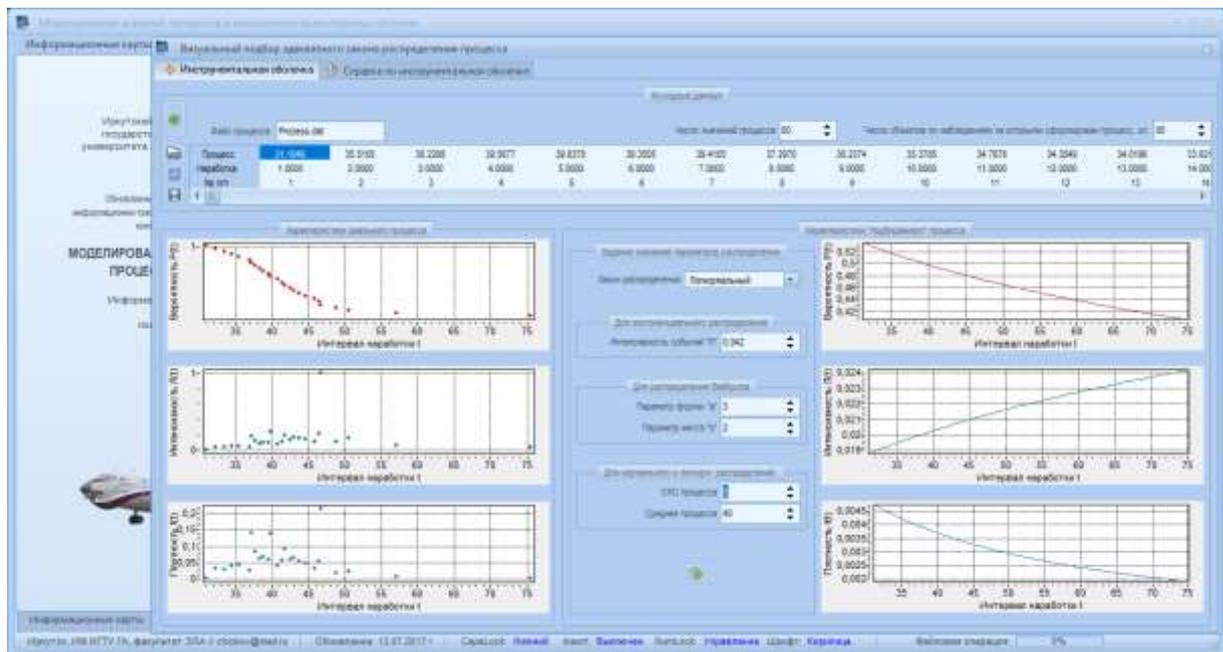


Рисунок 9 – Пример инструмента «Визуальный подбор адекватного закона распределения процесса»

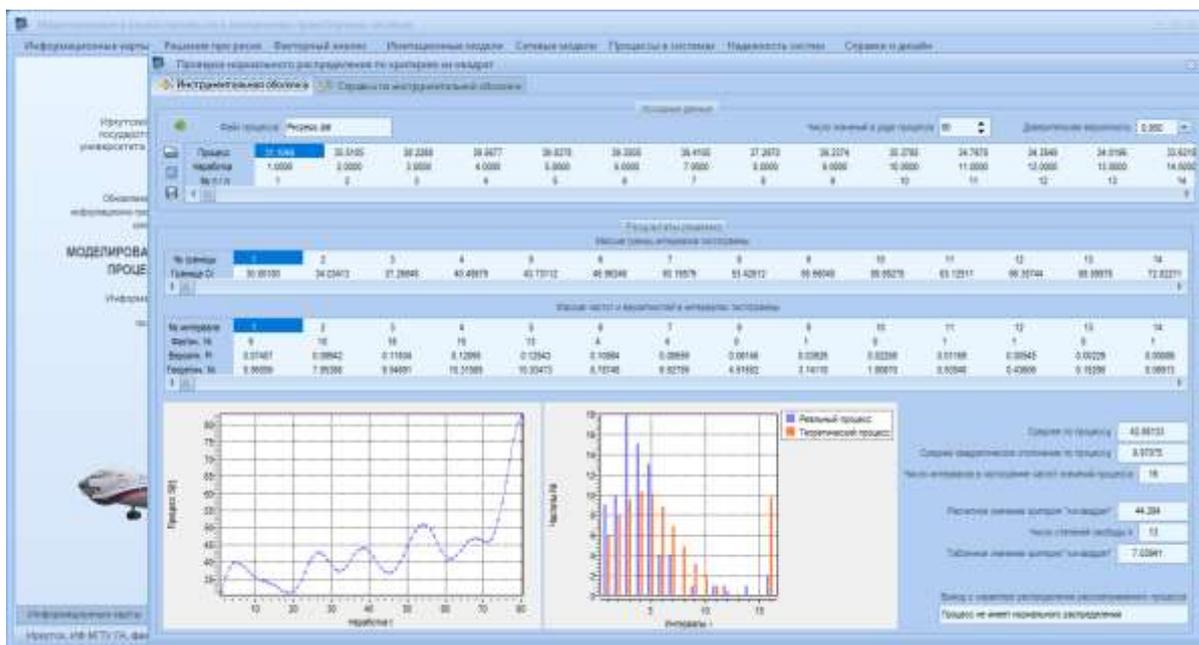


Рисунок 10 – Пример инструмента «Проверка адекватности распределения с помощью критерия Пирсона»

На рис. 10 показан инструмент для подбора адекватных теоретических распределений с использованием критерия Пирсона. Пример инструмента, позволяющего оценить значения параметров подобранных теоретических распределений, показан на рис. 11. В дальнейшем подобранные распределения и значения их параметров могут быть использованы для параметрической оценки показателей надежности.

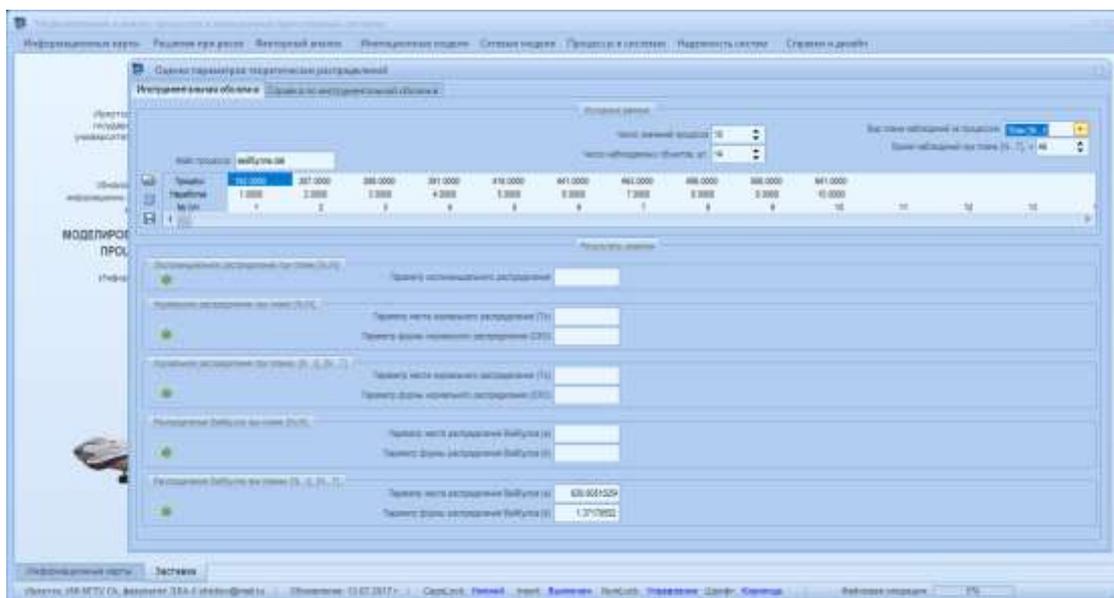


Рисунок 11 – Пример инструмента «Оценка параметров теоретических распределений»

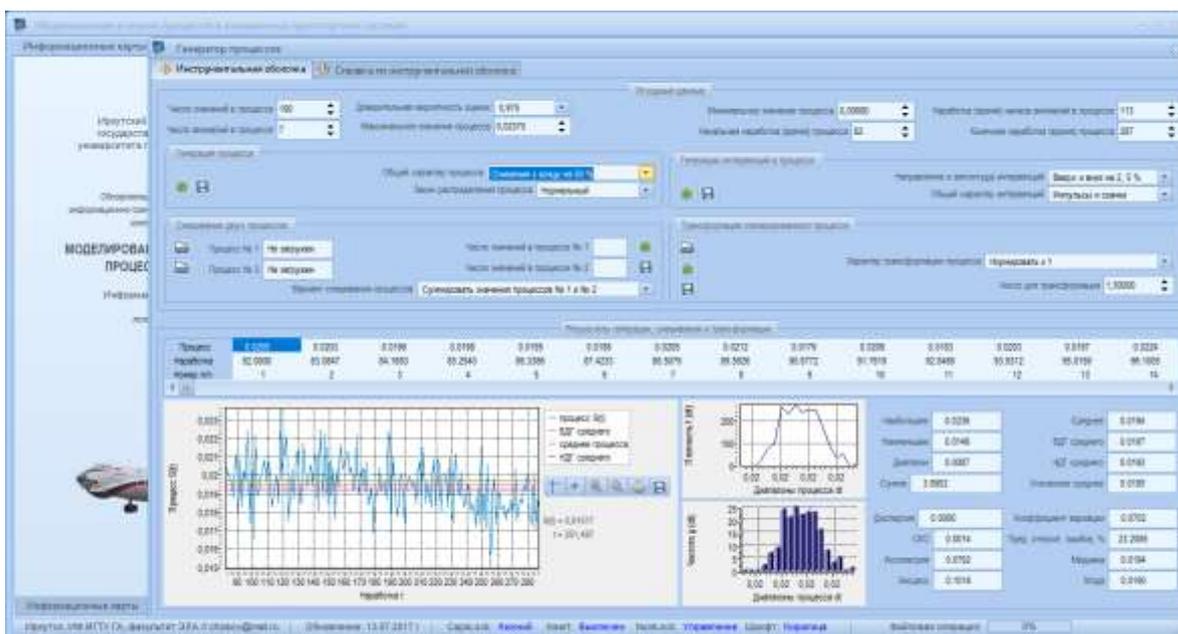


Рисунок 12 – Пример инструмента «Генератор процессов»

В процессе обучения часто возникает необходимость использования большого количества разнообразных массивов исходных данных, характеризующих наблюдаемые процессы. В этой связи в модуль включен генератор процессов. Пример работы с этим инструментом показан на рис. 12.

Во всех рассмотренных инструментальных оболочках встроены справки, позволяющие пользователям: выяснить порядок проверки работоспособности инструментов; узнать показания к применению инструментов; выяснить формат, единицы измерения исходных данных и допустимый диапазон их значений; ознакомиться с методическими рекомендациями по решению типовых задач; узнать рекомендации по использованию дополнительных инструментов; рассмотреть примеры практического применения инструментов. Справки располагаются в закладках «Справка по инструментальной оболочке» (рис. 13).



Рисунок 13 – Пример закладки «Справка по инструментальной оболочке»

Рассмотренные инструменты широко и эффективно используются в образовательном процессе филиала по направлению подготовки 2.25.03.01. В настоящее время ведется работа по расширению набора доступных инструментов. В частности, инструментов для: параметрической оценки надежности человеко-машинных звеньев (например, на основе использования дисперсионных распределений [2]); оценки надежности человека-оператора (например, на основе формул Мезона [3]); оценки надежности реализации технологических процессов (например, на основе теории графов [4]).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чокоей, В. З. Компьютерные средства описательной статистики – первичного анализа и подбора теоретических распределений для наблюдаемых процессов [текст] / В. З. Чокоей // Международный информационно-аналитический журнал *Crede Experto*. – 2017. – № 1 (12).
2. Чокоей, В.З. Использование дисперсионных распределений для оценки надежности эрготехнических объектов / В. З. Чокоей // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации России: сборник трудов IV научно-практической конференции преподавателей, научных работников и аспирантов. – Иркутск, 2014. – С 192–195.
3. Чокоей, В. З. Надежность эргатических систем предупреждения нештатных ситуаций на объектах промышленности и транспорта [текст] / В. З. Чокоей, Р. В. Чокоей // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 9 (56). – С. 124-129.

4. Чоккой, В. З. Подходы к оценке надежности эрготехнических звеньев авиатранспортных систем уровня воздушного судна [текст] / В. З. Чоккой // Системы, методы, технологии. – 2016. – № 3 (31) 2016. – С. 129–135.

УДК 629.7.03

## ФОРСИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ВЕРТОЛЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Хоришко Р. А.<sup>1</sup>, Федюков В. В.  
<sup>1</sup>*XorishkoRoman@yandex.ru*

Хоцацкий С. А.  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал  
Московского государственного технического университета  
гражданской авиации  
(г. Иркутск)*

В статье рассмотрен вопрос форсирования мощности вертолетного двигателя. Проведен анализ влияния влажности и водности атмосферного воздуха. Показано изменение влагосодержания и парциального давления воздуха от температуры воздуха. Проанализировано изменение характеристик двигателя в зависимости от влагосодержания. Разработана система впрыска воды в двигатель.

*Ключевые слова:* влажность, водность, мощность, влагосодержание, экономичность, газовая постоянная, характеристика.

Влажность воздуха, содержащего пары воды, оценивают влагосодержанием  $d$ , показывающем долю массы паров воды в сухом воздухе. Эта величина насыщения водяным паром и зависит от атмосферного давления  $p_i$ , давления насыщенных водяных паров  $p_d$ , которое является функцией температуры. Влагосодержание насыщения определяется уравнением

$$d = \frac{R_B p_d}{R_d (p_n - p_d)}, \quad (1)$$

где  $R_B = 287$  Дж/(кг·К) и  $R_d = 461$  Дж/(кг·К) – газовые постоянные воздуха и водяного пара.

$$\varphi_d = \frac{p_n}{p_d} 100\% \quad (2)$$

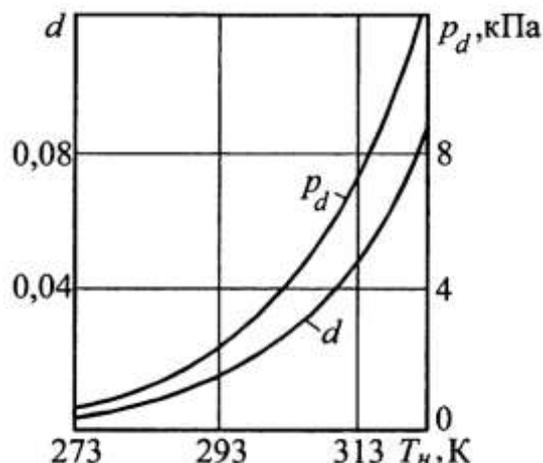


Рисунок 1 – Изменение влагосодержания и парциального давления воздуха от температуры воздуха

Влажность воздуха, кроме того, оценивают относительной влажностью  $\varphi_d$ , показывающей, какую долю составляют водяные пары ( $P_n$ ) в воздухе по сравнению с условиями насыщения. В связи с быстрым увеличением  $p_d$  по температуре с ростом  $T_n$  интенсивно увеличивается количество водяных паров, которое может содержать атмосферный воздух. Поэтому влияние влажности на параметры двигателя практически может сказаться только при повышенной атмосферной температуре. На рис. 2 представлены стандартные климатические условия, приведенные в отечественных и зарубежных нормах летной годности. Они определены на основе допущения, что их превышение с частотой одного дня в году является маловероятным. Так, в тропических условиях, максимальная влажность ( $\varphi_d = 100\%$ ) соответствует температуре ниже максимально возможной в тропиках и составляет 308 К (линия АБ). При этой температуре  $d = 0,0362$ . По мере увеличения высоты максимальное влагосодержание уменьшается, так как снижение парциального давления насыщенного пара  $p_d$  происходит быстрее (из-за снижения атмосферной температуры), чем атмосферного давления. С повышением влагосодержания атмосферного воздуха увеличиваются: газовая постоянная, удельная теплоемкость и уменьшаются показатель адиабаты.

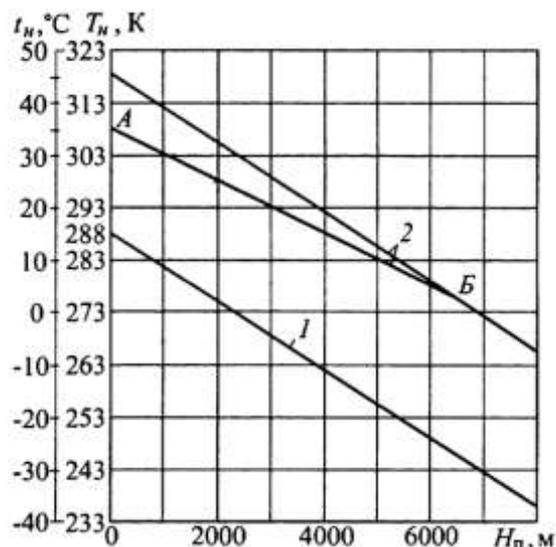


Рисунок 2 – Стандартные и максимальные климатические условия

Это приводит к изменению приведенной частоты вращения и приведенного расхода воздуха в компрессоре и турбинах, т. е. к изменению положения рабочей точки на характеристиках этих узлов. Кроме того, возрастает и относительный расход топлива в камере сгорания.

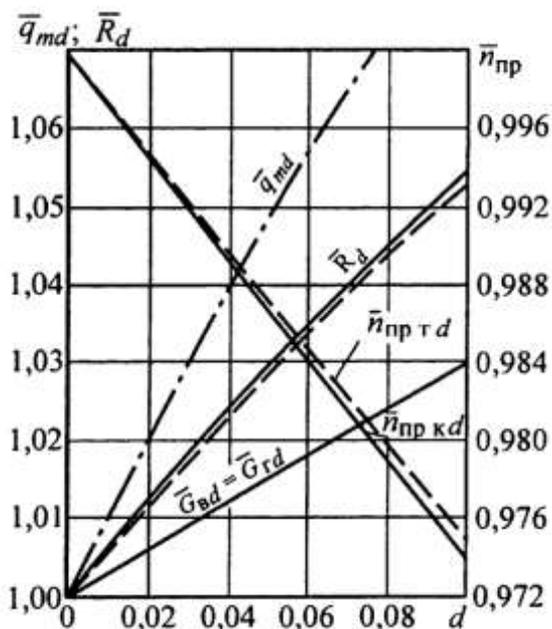


Рисунок 3 – Зависимость характеристик двигателя от влагосодержания

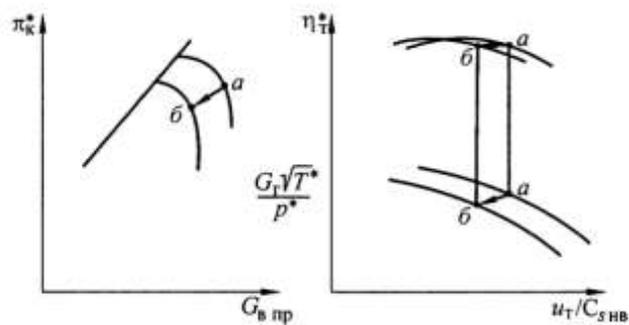


Рисунок 4 – Влияние влагосодержания на характеристики компрессора и турбины

Влияние перечисленных выше изменений на параметры всего двигателя зависит не только от величины  $d$ , но и от принятого закона регулирования двигателя. Так как наибольшее возможное влагосодержание соответствует высокой температуре атмосферного воздуха, когда вследствие ограничений по частоте вращения и температуре газов существенно снижается максимальная мощность двигателя, наибольший практический интерес представляет количественное влияние полной влажности при  $T_n = 308 \text{ K}$  на мощность и экономичность двигателя. Расчетное исследование газотурбинного двигателя с  $\pi_k^* = 20$  и  $T_r^* = 1600 \text{ K}$  для этих условий показало, что при программе управления  $T_{r_{\max}}^* = \text{const}$  мощность двигателя по сравнению с результатами, полученными для сухого воздуха, увеличивается примерно на 4%, а удельный расход топлива остается практически неизменным. При сохранении максимальной мощности двигателя ( $N_e$ ), равной значению, полученному на сухом воздухе, температура газов снижается на 15 K, а удельный расход топлива увеличивается немногим более чем на 1,1%. При  $N_e = 0,5$  ухудшение экономичности составляет 1,3%. Конкретные особенности характеристик компрессора и уровень исходных параметров цикла несколько изменяют приведенные значения, но не принципиально. Таким образом, наблюдается сравнительно небольшое влияние влажности атмосферного воздуха при реально возможных ее значениях на характеристики двигателя. В технической литературе часто приводят данные о существенно большем влиянии влажности, но они относятся к 100% влажности при значительно более высоких температурах, т. е. к гораздо большему влагосодержанию воздуха по сравнению с нормами летной годности. В точных расчетах характеристик ГТД расчет, с учетом влажности следует, проводить, начиная с  $T > 288 \text{ K}$ . Влияние влагосодержания атмосферного воздуха должно учитываться и в формулах приведения к стандартным атмосферным условиям.

Влияние пара связано с тем, что его теплофизические свойства, газовая постоянная  $R$  и показатель адиабаты  $\kappa$  отличаются от теплофизических свойств сухого воздуха. Показатели адиабаты сухого воздуха и пара близки друг к другу. Поэтому, в основном, влияние пара на характеристики компрессора связано с различием  $R$  водяного пара и сухого воздуха. Газовая постоянная водяного пара равна

$$R_{H_2O} = 462 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad (3)$$

Относительная величина влагосодержания  $d$  представляет собой отношение массы водяного пара к массе сухого воздуха в их смеси. При  $T_n=300\dots315\text{K}$  и  $\varphi=1$  величина  $d$  достигает  $0,05\dots0,1$ . Результаты расчета приведены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты расчета

$d$	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
$R$ Дж/ (кг * К)	287	288,8	290,5	292,3	294	295,8	297,5	299,3	301	302,8
$G_B$ кг/с	8,11	8,06	8,01	7,96	7,91	7,87	7,82	7,78	7,73	7,69
Суд	0,273	0,271	0,269	0,268	0,266	0,265	0,263	0,262	0,260	0,259
$L_{св}$ т Дж	2,471 E+05	2,486 E+05	2,500 E+05	2,515 E+05	2,530 E+05	2,545E +05	2,560 E+05	2,574 E+05	2,589 E+05	2,604 E+05
$\eta_{вн}^*$	0,311	0,313	0,315	0,317	0,319	0,320	0,322	0,324	0,326	0,328

Результаты расчета при расходе жидкости  $0,25\text{кг/с}$   $d=0,03125$  приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчета при изменении влагосодержания

$d$	0,03	0,03125	0,04
$R$ , Дж/(кг * К)	292,25	292,47	294
$G_B$ , кг/с	7,96	7,96	7,91
Суд, кг.т/(кВт ч)	0,268	0,268	0,266
$L_{св}$ т, Дж	2,515E+05	209909,03	2,530E+05
Внутр КПД	0,317	0,317	0,319

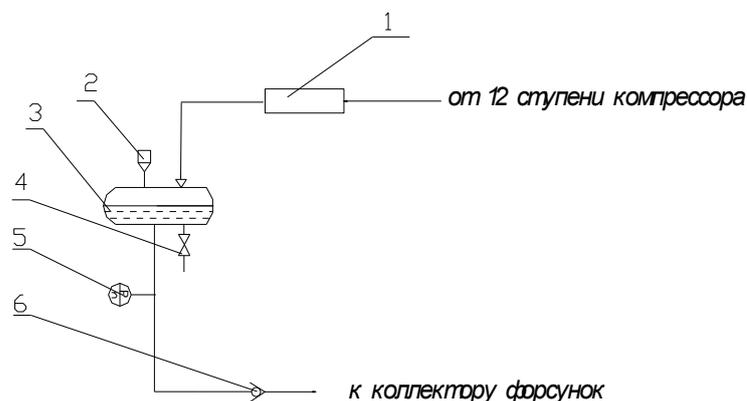


Рисунок 5 – Схема впрыска воды: 1 – ЭМК; 2 – заливная горловина; 3 – бак; 4 – сливной кран; 5 – сигнализатор давления; 6 – обратный клапан

Наиболее простой способ значительного форсирования тяги ТРД – это впрыск воды на входе в компрессор. Физическая сущность увеличения тяги с помощью этого метода состоит в следующем: в результате интенсивного нагрева в сжатом горячем воздухе вода испаряется; на превращение 1 кг воды с  $T=100$  град. в пар с той же температурой расходуется тепло, равное 539 ккал/кг. Под действием отвода тепла происходит понижение температуры воздуха на входе в компрессор, либо приближение политропического процесса сжатия к изотермическому. В результате, при неизменной работе на привод компрессора, определяемой числом его оборотов, возрастает степень повышения давления воздуха в компрессоре, а следовательно увеличивается давление газа вдоль всего газоздушного тракта двигателя. Это приводит к увеличению скорости истечения газов из сопла, а следовательно, увеличивает тягу двигателя. Схема впрыска воды в двигатель приведена на рис. 5.

При включении системы впрыска воды четыре центробежные форсунки, расположенные в силовом корпусе между стойками, подают в компрессор распыленную воду. Система впрыска воды включается вручную переключателем «Впрыск воды в двигатель». При включении впрыска воды команда поступает на электромагнитный кран 1, который открывается, и воздух от двенадцатой ступени компрессора поступает в бак. Вода по пути из бака к форсункам проходит обратный клапан 6 и поступает в коллектор форсунок. При этом срабатывает сигнализатор давления (СДУ) 5 и на приборной доске пилотов загорается лампочка, сигнализирующая о начале работы системы. После выработки из бака всего объема воды и продувки трубопроводов и форсунок воздухом (2 мин) система впрыска воды выключается принудительно тумблером «Впрыск воды в двигатель». При этом

срабатывает ЭМК 1 и отсекает воздушную магистраль подачи воздуха от бака. Сигнальная лампа гаснет.

Таким образом, предлагаемая система впрыска воды позволяет повысить мощность свободной турбины вертолетного двигателя и в целом мощность силовой установки. Результаты расчета показывают, что при распылении 30 л жидкости в компрессор в течение 2 мин мы получим прирост мощности свободной турбины на 1,9%, увеличение внутреннего КПД на 1,87%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Казанджан, П. К. – Теория авиационных двигателей. Теория лопаточных машин [текст] / П. К. Казанджан, Н. Д. Тихонов, А. К. Янко. – М.: Машиностроение, 1983. – 217 с.
2. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей / под ред. Л. П. Лозицкого. – М.: Воздушный транспорт, 1992. – 371 с.
3. Теория авиационных двигателей. Ч.1: учебник для Вузов ВВС / под ред. Ю. Н. Нечаева. – М.: Изд. ВВИА им. Проф. Жуковского Н. Е., 2006. – 262 с.

УДК 629.7.03

### **К ВОПРОСУ РАСЧЕТА КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА УЗЛА МЕЖВАЛЬНОГО ПОДШИПНИКА**

**Федюков В. В., Горшенин Д. С.**

**Ходацкий С. А.**  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал  
Московского государственного технического университета  
гражданской авиации  
(г. Иркутск)*

В статье рассмотрен вопрос расчета критических частот вращения вала экспериментальной установки. Рассмотрена схема узла межвального подшипника. Приведены расчетные уравнения. Проведен расчет критических частот вращения ведущего вала узла экспериментальной установки при прямой и обратной прецессиях. Проанализированы результаты расчета.

*Ключевые слова:* межвальный подшипник, повреждения, вал, прецессия, критическая частота.

Основной причиной нарушения работоспособности межвального подшипника является его повышенный нагрев при недостаточной прокачке масла. Наиболее характерными повреждениями подшипников являются защемление подшипника вследствие уменьшения внутренних зазоров, износ дорожек и тел качения, коррозия поверхностей деталей, усталостное выкрашивание металла на рабочих поверхностях колец и тел качения [1, 2]. Необходимый уровень надежности узла межвального подшипника во многом определяется долговечностью его деталей, которая зависит от конструкции подшипников, материала деталей, технологии изготовления и режимов эксплуатации.

На рис. 2 – представлена схема узла межвального подшипника.



Рисунок 1 – Характерные повреждения подшипника



Рисунок 2 – Узел межвального подшипника в сборе

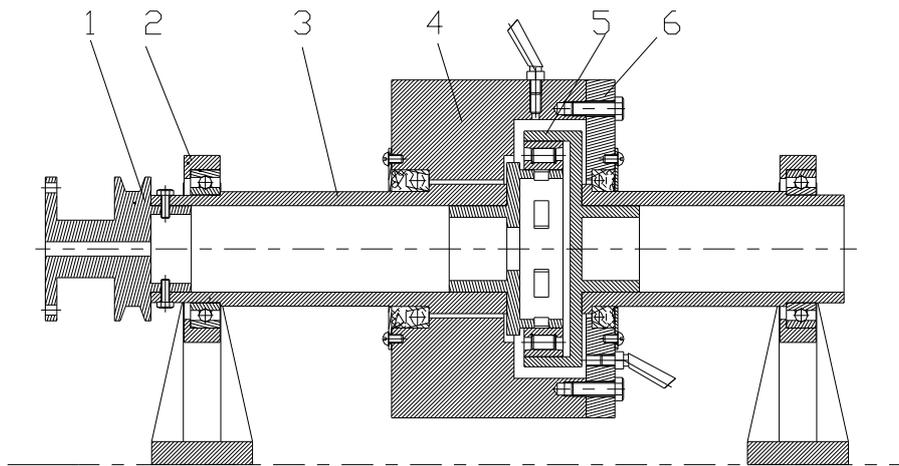


Рисунок 3 – Узел межвального подшипника: 1 – шкив; 2 – подшипник; 3 – входной вал; 4 – корпус; 5 – межвальный подшипник; 6 – крышка

На рис. 3 представлен разрез узла межвального подшипника.

Исследуемый подшипник прессуется наружной обоймой на ведомый вал. Внутренней обоймой подшипник впрессовывается в ведущий вал 3. Валы посредством подшипника соединяются в корпусе с крышкой. На валы дополнительно впрессованы опорные подшипники 2 с сальниками, которые, в свою очередь, впрессованы в торцы корпуса и служат для поддержки валов. На ведущем валу 3 установлен шкив 1, который посредством ременной передачи приводится в движение от коллекторного двигателя с регулятором оборотов. Двигатель находится под экспериментальной установкой, на площадке с регулировкой натяжения ремня (рис. 4).



Рисунок 4 – Двигатель с регулятором оборотов

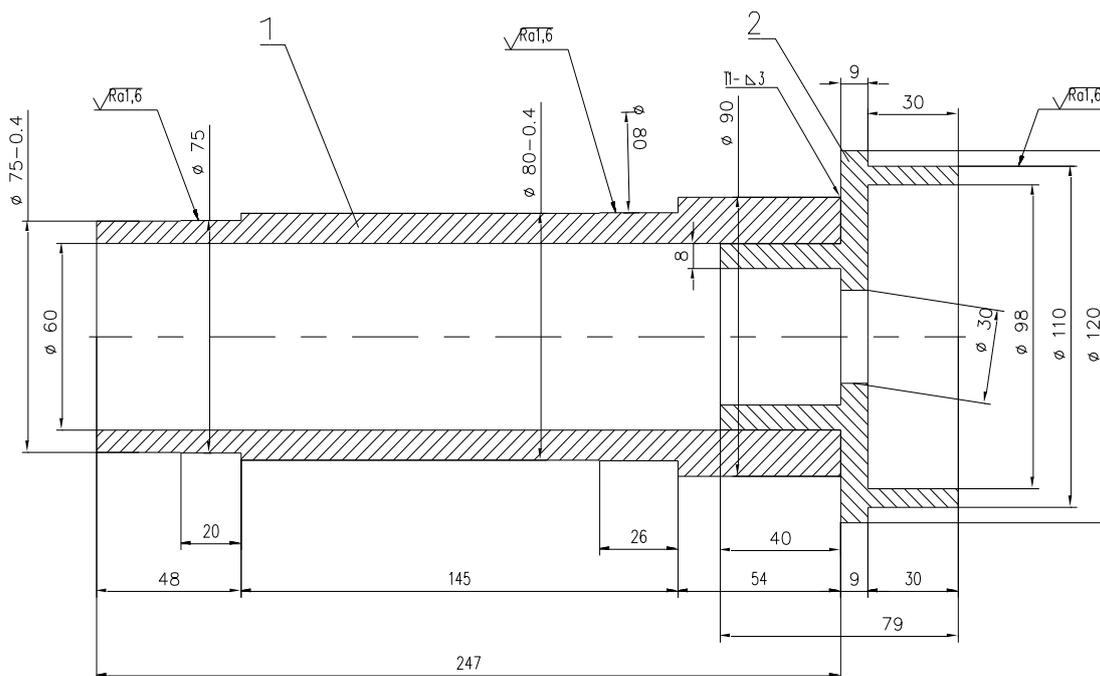


Рисунок 5 – Схема ведущего вала

В ведомом валу имеются прорези для установки в них четырёх термопреобразователей, которые крепятся на внутренней обойме исследуемого подшипника.

Задачей исследования является расчет критических частот вращения ведущего вала. На рис. 5 приведена расчетная схема ведущего вала.

Под критическими частотами вращения ротора понимается частота вращения вала, при которой резко увеличиваются его прогибы. Следует отметить, что полная уравновешенность ротора реально не достижима, поэтому при его вращении всегда действуют неуравновешенные силы и моменты. Если ротор вращается с круговой частотой  $\omega$  и одновременно совершает колебательные движения с круговой частотой  $p$ , то он совершает сложное движение, называемое прецессией. Если направление вращения ротора совпадает с направлением круговых движений вала, то прецессия называется прямой, в противном случае – обратной. При равенстве  $p$  и  $\omega$  по абсолютной величине, прецессионное движение называется синхронной. В общем случае  $\omega$  может отличаться от  $p$  как по величине, так и по направлению, так как величина  $\omega$  определяется режимом работы двигателя, а величина  $p$  определяется собственными изгибными свойствами ротора. Но наиболее важными случаями являются прямая синхронная прецессия ( $\omega = p$ ) и обратная синхронная прецессия ( $\omega = -p$ ).

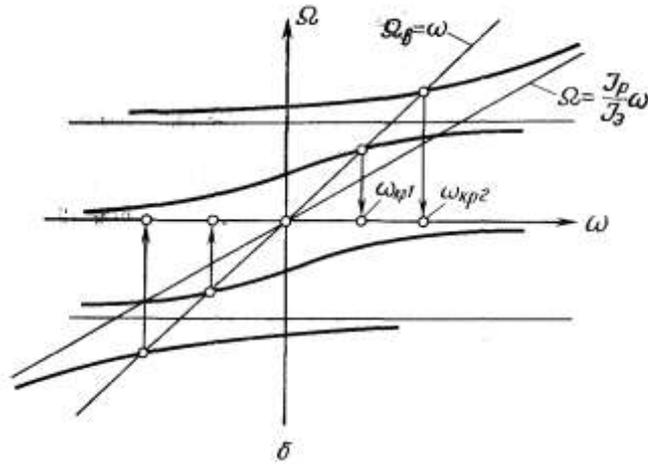


Рисунок 6 – Частотная диаграмма

Соответственно, резонансные режимы будут наблюдаться на определенных частотах вращения ротора, которые называют критическими. Они могут быть определены из уравнения частот, в котором следует положить  $\Omega = \omega$  [3]:

$$\Delta[\Delta_d I_y m] = \left(1 - \frac{\omega_{\varepsilon\delta}^2}{p_1^2}\right) \left(1 - \frac{\omega_{\varepsilon\delta}^2}{p_2^2}\right) = \omega_{\varepsilon\delta}^4 m \times I_{r\delta} \frac{\alpha_A \times \alpha_A}{L^2} -$$

$$-\omega_{\varepsilon\delta}^2 \left\{ \frac{\alpha_A + \alpha_A}{L^2} I_{r\delta} + \left[ \left(\frac{l}{L}\right)^2 \alpha_A + \left(1 + \frac{l}{L}\right)^2 \alpha_A \right] m \right\} + 1$$

где,  $I_{np} = I_3 \left(1 - \frac{I_p}{I_3}\right)$  – приведенный момент инерции;

$\pm p_1, \pm p_2$  – корни биквадратного уравнения частот  $\Delta = 0$ , которые являются критическими частотами вращения абсолютно жесткого ротора на опорах с радиальными податливостями  $\alpha_A$  и  $\alpha_B$ ;

$l, L$  – геометрические параметры ротора;

$\omega_{\varepsilon\delta}$  – критическая частота вращения ротора.

Расчет критических частот проводим с использованием программы BLADE.

Исходные данные:

- Длина  $l_1 = 0.145$  м
- длина  $l_2 = 0.247$  м
- длина  $l_3 = 0.283$  м
- на длине  $l_1$  момент инерции  $J_1 = 0.000006$  м<sup>4</sup>;

- на длине  $l_2$  момент инерции  $J_2 = 0.000008 \text{ м}^4$ ;
- момент инерции фланца  $J_\delta = 0,00425 \text{ м}^4$ ;
- масса вала  $m = 1,85 \text{ кг}$ ;
- модуль упругости  $E = 210000.0 \text{ Па}$ .

Результаты расчета:

Критическая угловая скорость при прямой прецессии  $\omega_{np} = 224 \text{ с}^{-1}$ .

При обратной прецессии получаем два значения критической угловой скорости:

- первое значение  $\omega_{обр1} = 215 \text{ с}^{-1}$ ;
- второе значение  $\omega_{обр2} = 185 \text{ с}^{-1}$ .

Так как расчетная частота вращения ротора узла межвального подшипника составляет  $100 \text{ с}^{-1}$ , то критических частот в рабочем диапазоне частот вращения ведущего вала нет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кикоть Н. В. Разработка метода анализа теплового состояния межроторных подшипников газотурбинных двигателей: Автореф.... дис. – Москва, 2010. – 18 с.
2. Гачегов, Н. А. Расчеты теплового состояния подшипников качения с различными системами смазки [текст] / Н. А. Гачегов, А. К. Маркин. – М.: Машиностроение, 2000. – 165 с.
3. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей [текст] / под ред. Л. П. Лозицкого. – М.: Воздушный транспорт, 1992. – 371 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ**

**Никитюк И. А.**

**Барсуков А. Г.**

*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*

*Московского государственного технического университета*

*гражданской авиации*

*(г. Иркутск)*

В статье рассматривается возможность применения семи известных инструментов контроля качества процессов, продукции и услуг (контрольный листок; графики, диаграммы и гистограммы; метод стратификации; диаграмма разброса (рассеяния); диаграмма Парето; диаграмма Исикавы и контрольные карты Шухарта).

*Ключевые слова:* семь инструментов контроля качества, безопасность полетов, гражданская авиация.

В начале XXI века мировая авиационная общественность в лице Международной организации гражданской авиации (ИКАО) официально заявила о том, что гражданская авиация превратилась в ультрабезопасный вид транспорта. Данный факт обусловлен тем, что на протяжении последних 30 лет ИКАО находится в постоянном активном поиске новых подходов в решении проблемы обеспечения высокого уровня безопасности полётов. В связи с ростом парка воздушных судов (ВС), возрастанием интенсивности полётов, вместимости воздушных судов, переносом процента аварийности в область человеческого и организационных факторов и одновременной стагнации показателей аварийности, потребовалось изменение идеологии предупреждения авиационных происшествий (АП) и авиационных инцидентов (АИ). В настоящее время эта идеология воплощена посредством системного подхода к управлению безопасностью полётов в виде системы управления безопасностью полетов (СУБП), реализующей переход от ретроактивного к проактивному и прогностическому стратегиям управления. Управление рисками для безопасности полётов невозможно без постоянного мониторинга событий, фактов опасности и риска для их объективного анализа и оценки с целью принятия управленческих решений. Как известно, управлять можно тем, что подлежит измерению. Специалисты, решающие управленческие

задачи, знают, насколько важно для этого располагать простыми, но в то же время современными и эффективными методами сбора и обработки, оценки исходной информации. В СУБП такой информацией являются данные бортовых и наземных средств объективного контроля, доклады и сообщения авиационного персонала, включая добровольные сообщения, результаты контроля и инспектирования и т. д.

В Руководстве по управлению безопасностью полётов ИКАО определены приоритеты ответственности, реализуемые в виде СУБП и системы управления качеством СУК): СУБП отвечает за безопасность, а СУК – за производственную деятельность. Взаимосвязь СУБП и СУК нашла своё отражение в интегрированной системе менеджмента авиационной деятельности, состоящей из системы менеджмента безопасности полётов SMS и системы менеджмента качества – SMK, реализующих требования к качеству продукции, услуг, технологических процессов, соответствующих стандартам ИСО 9001...9004.

Для оценки и управления качеством, широкое применение находят так называемые инструменты контроля качества, основанные на использовании статистических методов. Особое место по своей простоте, доступности и практической ценности занимают 7 инструментов качества, разработанных и принятых в 1979 г. Союзом японских учёных [1]. Цель применения этих инструментов заключается в выявлении проблем, подлежащих первоочередному решению на основе действующего процесса (в авиации лётная и техническая эксплуатация воздушных судов и т. д.), сбора, обработки и анализа зарегистрированных фактов для последующего улучшения процесса. По мнению японских учёных, с применением 7 инструментов качества можно, в принципе, решить до 95% всех проблем, возникших на производстве.

К данным инструментам относятся: контрольный листок; графики, диаграммы и гистограммы; метод стратификации; диаграмма разброса (рассеяния); диаграмма Парето; диаграмма Исикавы и контрольные карты Шухарта.

**1. Контрольный листок.** Позволяет ответить на вопрос: «Сколько раз имело место то или иное событие, свойство или факт?». Применение этого метода подразумевает однородность регистрируемых данных. В табл. 1 представлен контрольный листок – таблица проверок, содержащий информацию о дефектах и неисправностях гидравлической системы на 5 воздушных судах.

Таблица 1 – Контрольный листок

Вид дефекта и неисправности	Данные контроля ВС					Итого
	Номера воздушных судов					
	1	2	3	4	5	
Негерметичность						18
Нарушение отбортовки						16
Неправильная контровка						23
Итого:	15	15	13	8	6	57

## 2. Графики, диаграммы и гистограммы

а) графики. Позволяют наглядно отслеживать тенденцию изменения показателей безопасности полётов за определенный период эксплуатации (при наличии закономерностей определять тренд). На рис. 1 представлены данные об изменении количества авиационных происшествий ( $n_{АП}$ ) за 2010...2014 гг.

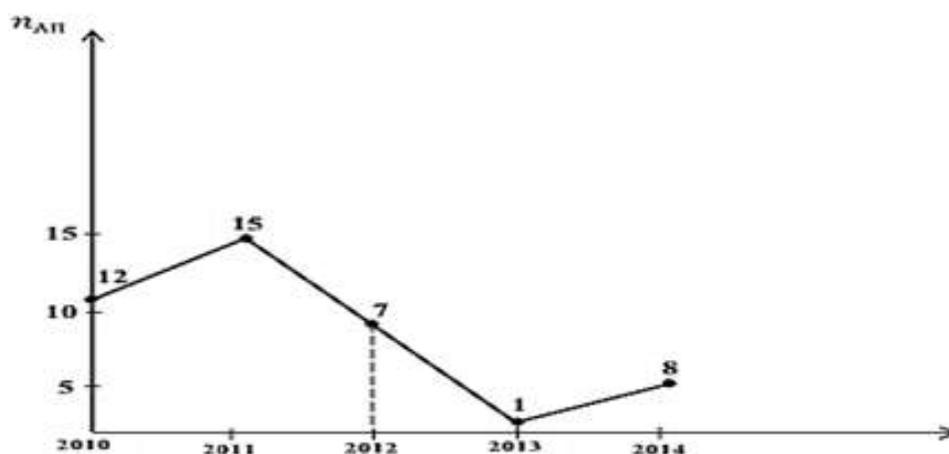
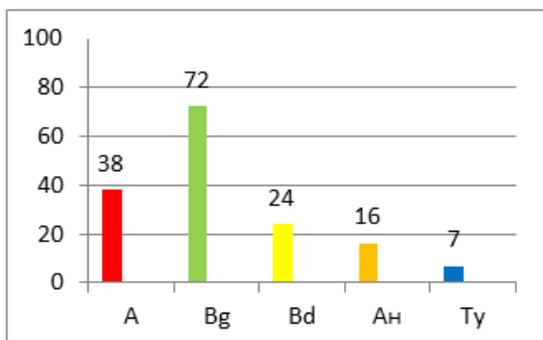
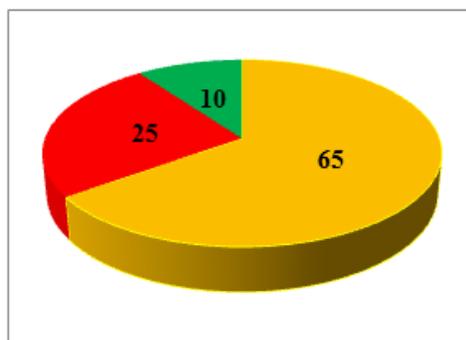


Рисунок 1 – Изменение  $n_{АП}$  по годам эксплуатации

б) диаграммы (столбиковые, круговые, диаграмма-радар). Позволяют, как и графики, обеспечить наглядность зафиксированных данных в количественном отношении. На рис. 2а представлены: столбиковая диаграмма для числа АИ производителей воздушных судов: Airbus (А), Boeing (Вg), Bombardier (Вd), Ан и Ту за 1-е полугодие 2014 г., а на рис. 2б – круговая диаграмма влияния факторов опасности: человеческий фактор (ЧФ) – 65%, отказы авиатехники (АТ) – 25%, неблагоприятные внешние условия (НВУ) – 10%.



а



б

Рисунок 1 – столбиковая и круговая диаграммы

в) гистограмма. Позволяет ответить на вопрос: «Как часто имело место то или иное событие (фактор опасности) и какому закону распределения оно подчиняется?». На рис. 3 представлена гистограмма (эмпирическая функция плотности вероятностей) для координаты точки приземления ВС, отсчитываемой от торца ВПП при посадке;

г) стратификация (**метод стратификации**). Представляет собой процесс сортировки данных согласно определенным переменным. Исходный массив сортируется в различные группы (или категории) с общими характеристиками, например, по поставщикам продукции, по бригадам (сменам) исполнителей, по системам, оборудованию и т. д.

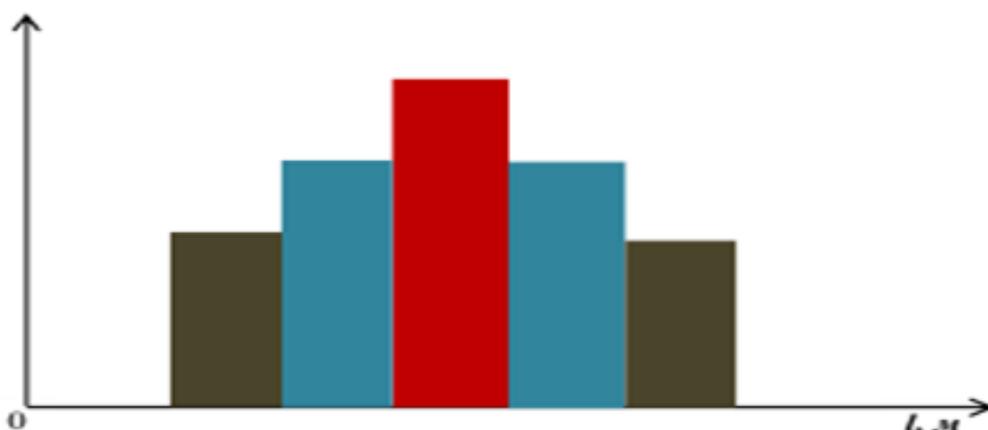


Рисунок 3 – Гистограмма удаления точки приземления ВС от торца ВПП при посадке

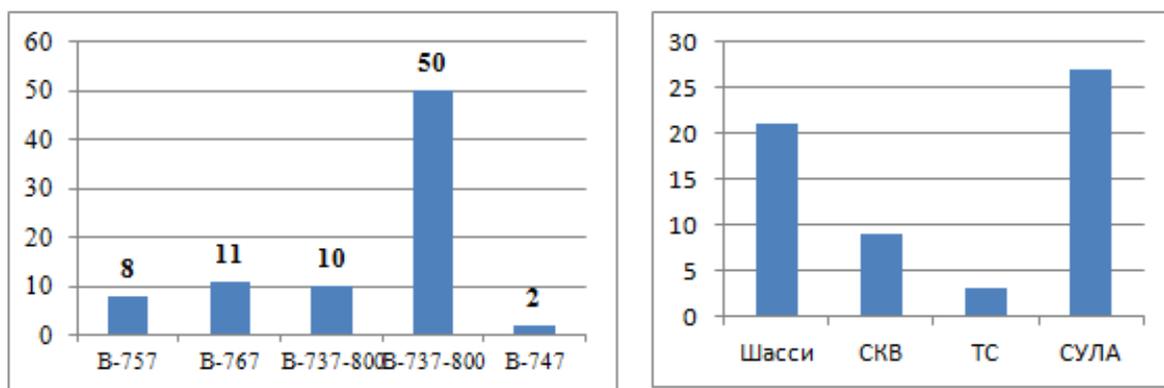


Рисунок 4 – Стратификация числа АИ для категорий: производители, функциональные системы

На рис. 4 представлены результаты стратификации числа АИ, обусловленных фирмами – производителями ВС, отказами функциональных систем ВС (шасси, системы кондиционирования (СКВ), топливной системы (ТС), систем управления (СУЛА)).

Как видно, наибольший вклад в наличие АИ по КПН вносил в 1-м полугодии 2014 г. в ГА РФ производитель Boeing-737 (50 АИ по этой категории).

**3. Диаграмма разброса (рассеяния).** Позволяет оценить характер взаимосвязи между двумя переменными. Представляет собой график двух переменных (рис. 5). На рис. 5а переменные не имеют связи между собой; рис. 5б – имеет место положительная зависимость между двумя переменными (факторами); рис. 5в – имеет место отрицательная зависимость между переменными (факторами). Диаграмма разброса, иллюстрирующая зависимость между двумя случайными переменными, представляет собой поле корреляционной зависимости, которую можно количественно оценить коэффициентом корреляции.

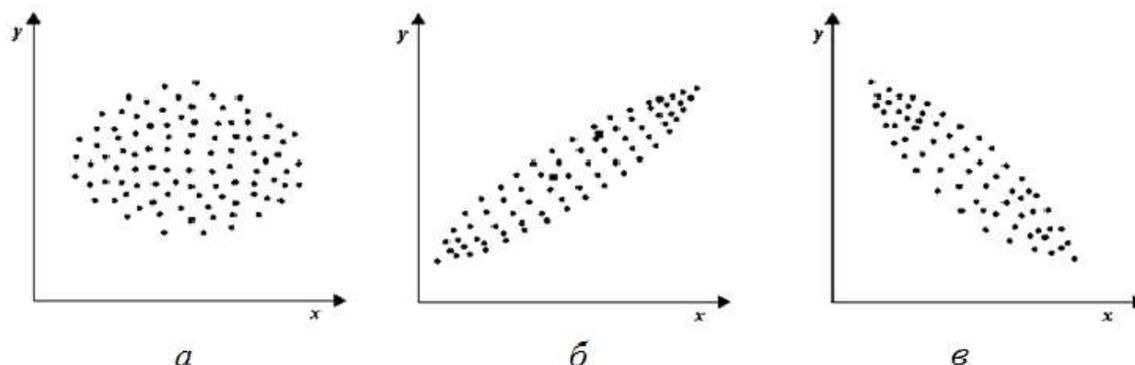


Рисунок 5 – Диаграмма разброса: а – переменные не имеют связи; б – имеет место положительная зависимость; в – имеет место отрицательная зависимость



Рисунок 6 – Причинно-следственная диаграмма Исикавы

**4. Диаграмма Исикавы.** Это причинно-следственная диаграмма («рыбий скелет»), позволяющая интерпретировать причины и следствия разного порядка значимости: главные причины – главные «кости», причины первого порядка – «кости» первого порядка и т. д. В качестве главной проблемы принимается голова рыбы, в которой записывается главная проблема, определяющая качество, например, отказ авиатехники; главные кости – главные причины, обусловившие отказ: человек, инструмент (машина), материал, среда, средства контроля и измерения или другие причины; кости 2-го порядка – это причины 2-го порядка значимости и т. д. (рис. 6).

**5. Диаграмма Парето.** Эта диаграмма является наглядным отображением вывода итальянского учёного В. Парето о том, что 80% неудач обусловлено 20% причин. Диаграмма позволяет расшифровать факторы (причины) по их значимости и указывает, на что нужно воздействовать в первую очередь.

В табл. 1 представлены исходные данные в виде количества отказов функциональных систем А, В, С, D, E, F воздушного судна, необходимых для построения диаграммы, а рис. 6 – диаграмма Парето. Из диаграммы следует, что согласно А – В – С анализа, разработанного для диаграммы Парето, наибольшее внимание и принятие первоочередных мер должно быть направлено на системы С и В.

Таблица 1 – Распределение отказов по системам А, В, С, D, E, F

ФС	А	В	С	D	E	F	Итого
Число отказов	9	12	24	4	3	1	53

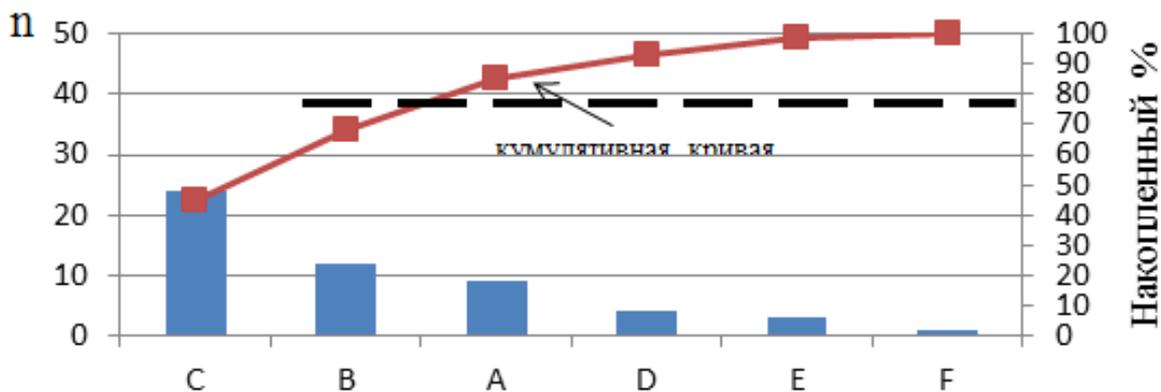


Рисунок 7 – Диаграмма Парето

7. Контрольные карты Шухарта. Это специальный вид диаграммы, которая отражает характер изменения показателя качества во времени. На рис. 7 представлена контрольная карта показателя частоты АИ (отношение числа АИ к налёту в часах) по месяцам года. Позволяет оценить влияние системных и случайных факторов на этот показатель и принять корректирующие меры в случае выхода процесса за верхнюю предельную границу (ВПГ):

$$ВПГ = m_{n_{AI}} + 3\sigma_{n_{AI}},$$

где  $m_{n_{AI}}$  – среднее значение частоты АИ за год;  $\sigma_{n_{AI}}$  – среднеквадратичное отклонение числа АИ.



Рисунок 8 – Контрольная карта Шухарта по результатам аварийности за год

Таким образом, рассмотренные инструменты качества – это простые и надёжные средства для большого количества проблем, возникающих в авиационной транспортной системе при анализе и оценке безопасности полетов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ноулер, Л. Статистические методы контроля качества продукции [текст] / Л. Ноулер. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 96 с.

УДК 621.452.322

### **ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Батраков И. А.**

**Зиненков Ю. В.**

*(научный руководитель)*

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

В статье затронуты проблемы текущего состояния авиационной отрасли в двигателестроении и перспективы дальнейшего развития силовых установок нового поколения. Представлен результат анализа работ ведущих научно-исследовательских организаций в области разработок перспективных схем авиационных силовых установок. Раскрыты наиболее вероятные тенденции данных концептуальных исследований. Так же представлен результат предварительных исследований по формированию предварительного технического облика электрической силовой установки для легкого беспилотного летательного аппарата самолетного типа.

*Ключевые слова:* пятое поколение, электрическая силовая установка, беспилотный летательный аппарат, оценка эффективности.

Эпоха развития классических газотурбинных двигателей уже прошла стадию разработок, приносящих существенное повышение эффективности летательных аппаратов. На разрабатываемом пятом поколении авиационных двигателей мероприятия по повышению эффективности связаны с большим усложнением конструкции, при этом выигрыш получается достаточно скромным, граничащим с целесообразностью проводимых мероприятий. Повысить параметры рабочего процесса двигателя, используя классические схемы, больше нет возможности [1]. В настоящее время, на разрабатываемых двигателях пятого поколения, эффективность достигается путем усовершенствования систем управления, применением новых материалов и способов изготовления отдельных деталей. В последующем, шестом

поколении авиационных двигателей, о котором некоторое время уже говорят, ни одна традиционная схема газотурбинного двигателя не сможет обеспечить выполнение задаваемых требований. В связи с этим, многие конструкторские бюро и научно-исследовательские организации авиационной отрасли занимаются созданием научно-технического задела в обеспечение прорывных решений в области создания авиационных силовых установок нетрадиционных схем. На кафедре авиационных двигателей Военно-воздушной академии имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, дислоцирующейся в настоящее время в городе Воронеже, также проводятся исследования в данном направлении.

Авторами проведен анализ работ ведущих научно-исследовательских организаций в области разработок перспективных схем авиационных силовых установок, в результате чего определены наиболее перспективные направления исследований.

Одна из самых развиваемых, в настоящее время, концепций – это концепция «Электрическая силовая установка», правда, пока ее реализовать до конца на пилотируемых и беспилотных летательных аппаратах большой взлетной массы не удастся ввиду больших удельных параметров источников энергии (генераторы, аккумуляторы, топливные элементы). Но здесь существует обнадеживающая тенденция развития технологий, которая по прогнозам к 2030 году позволит улучшить этот параметр в десять раз, и тогда распределённые, гибридные и электрические силовые установки можно будет применять для беспилотных летательных аппаратов с большей эффективностью, по сравнению с существующими образцами. Это особенно актуально будет для малоразмерных беспилотников взлетной массы от 100 до 1000 кг. Данный диапазон наиболее сложен для выбора двигателя, так как использовать силовую установку на базе турбореактивного двигателя для него слишком дорого, а поршневые двигатели не обеспечивают требуемые удельные характеристики. Поэтому в этом классе можно применить гибридную силовую установку с перспективным авиационным роторно-поршневым двигателем, приводящим во вращение электрогенератор высокой производительности, являющимся, в итоге, источником электрической энергии на борту.

Для беспилотных летательных аппаратов с взлетной массой менее 100 кг наиболее целесообразно использовать электрическую силовую установку на базе высокоэффективных топливных элементов. В настоящее время уже существуют модели беспилотников (Иркут-10, Рекорд, ЦИАМ 80-2) с такого рода силовыми установками, но они пока обладают рядом недостатков.

В первую очередь, это недостаточная мощность твердополимерных топливных элементов, также для их работы требуется водород высокой степени очистки, баллоны высокого давления (до 600 атм.), малогабаритные редукторы с выходным давлением 1,1–1,3 атм. с высокой точностью дозирования водорода, средства заправки данных баллонов и т. д. На практике все перечисленные проблемы в нашей стране пока не решаются, но есть заинтересованные организации, работающие над данными проблемами достаточно успешно, и в перспективе ситуация в данном вопросе может улучшиться. К примеру, Институтом физики твердого тела Российской академии наук (Черноголовка) уже создаются отечественные батареи на твердополимерных топливных элементах мощностью до 1 кВт (см. рис. 1) для легких беспилотных летательных аппаратов. Первый ее экземпляр был апробирован на легком беспилотнике ЦИАМ-рекорд (см. рис. 2), разработанным практически в инициативном порядке группой ученых под руководством Селиванова Олега Викторовича.



Рисунок 1 – Фрагмент бортовой энергоустановки на твердополимерном топливном элементе отечественного производства



Рисунок 2 – Беспилотный летательный аппарат ЦИАМ-рекорд в полете

Что касается силовых установок для тяжелых беспилотных летательных аппаратов, требующих двигателя большой мощности в компактных размерах, то они в перспективе могут быть основаны на пульсирующем детонационном двигателе, схему которого предложил профессор кафедры теории авиационных двигателей «Военно-воздушной академии имени профессора Н. Е. Жуковского», доктор технических наук Ю. Н. Нечаев [2]. В настоящее время его учениками и последователями ведутся активные работы в данном направлении.

Коллективом ученых кафедры авиационных двигателей Военно-воздушной академии имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина ведутся поисковые исследования по формированию предварительного технического облика электрической силовой установки для легкого многоцелевого беспилотного летательного аппарата самолетного типа. Одной из первостепенных задач сейчас является создание компактной высокопроизводительной установки для получения водорода. При этом рассматривается ряд концепций с оценкой их эффективности по критериям разрабатываемого беспилотного летательного аппарата, его дальности и продолжительности полета на заданной высоте, с требуемой полезной нагрузкой и выполнением полетного задания типа воздушного мониторинга местности.

Предварительные исследования показывают высокий потенциал данного направления в развитии силовых установок для легких беспилотных летательных аппаратов различного целевого назначения. На основе этого, в дальнейшем, планируется провести расчетно-теоретические исследования по влиянию различных эксплуатационных факторов на эффективность применения электрических силовых установок в составе легкого беспилотного летательного аппарата с широким спектром целевого применения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин, В. И. Роль и место экспериментальных исследований при создании перспективных авиационных двигателей / В. И. Бабкин, В. И. Солонин // Двигатель. – 2015. – № 4 (100). – С. 2–9.
2. Нечаев, Ю. Н. Силовые установки гиперзвуковых и воздушно-космических летательных аппаратов / Ю. Н. Нечаев. – М.: Изд-во Академии Космонавтики им. К. Е. Циолковского, 1996. – 203 с.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
УЗЛОВ ТРЕНИЯ, ОМЫВАЕМЫХ СМАЗОЧНЫМ МАСЛОМ,  
АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТРУБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ПРОБЫ СМЫВА  
С ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СЛОЯ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА**

**Дроков В. Вл.<sup>1,3</sup>, Мурыщенко В. В.<sup>1,3</sup>, Мухутдинов, Ф. И.<sup>2</sup>,  
Скудаев Ю. Д.<sup>1</sup>, Халиуллин В. Ф.<sup>2</sup>**

**Дроков В. Г.<sup>1</sup>**  
(научный руководитель)

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт прикладной физики  
«Иркутский государственный университет»  
(г. Иркутск)*

<sup>2</sup>*АО «ОДК-Авиадвигатель»  
(г. Пермь)*

<sup>3</sup>*Аспиранты научно-исследовательского института прикладной физики  
«Иркутского государственного университета»  
(г. Иркутск)*

Разработано устройство и методика извлечения частиц изнашивания с диагностического слоя фильтроэлемента типа QA07930-01. Показано, что первый смыв с диагностического слоя по количеству и составу частиц является представительным для достоверной оценки технического состояния маслосистемы двигателя по параметрам частиц изнашивания. Полное время подготовки пробы к анализу, включая: проведение смыва, отстаивание пробы, обработку ее в ультразвуковой ванне составляет 90 минут. Проведена оценка технического состояния маслосистемы двигателей ПС-90А, оснащенных фильтроэлементом QA-07930-01 с диагностическим слоем и двигателей, оснащенных фильтроэлементом QA-07930 без диагностического слоя. Результаты свидетельствуют о возможности широкого внедрения фильтроэлемента QA-07930-01 в эксплуатацию с целью удобства обслуживания авиационных двигателей и снижения издержек при проведении диагностических исследований.

*Ключевые слова:* фильтроэлемент, диагностическая лента, частицы изнашивания, статистическая модель, газотурбинный авиационный двигатель, диагностический признак, параметры частиц изнашивания.

Современные авиационные газотурбинные двигатели предъявляют повышенные требования к очистке смазывающих масел, поэтому на смену сетчатым многоразовым маслофильтрам с ячейками размером 40–70 мкм

пришли одноразовые фильтроэлементы, выполненные из нетканого материала, с тонкостью фильтрации 10–15 мкм и ресурсом 600 часов.

Ранее, в работе [1], было показано, что при оценке технического состояния маслосистемы двигателей Д-30КП/КУ/КУ-154, оснащенных сетчатым масляным фильтром с размером ячеек  $\sim 70$  мкм, достоверность результатов диагностирования значительно повышается при учете параметров частиц изнашивания при анализе пробы смыва с маслофильтра.

Применение одноразовых тонкоячеистых фильтроэлементов с ресурсом 600 часов выявило проблему при использовании трибодиагностических методов. Известно, что время развития большей части дефектов, от их возникновения, до стадии предотказного состояния двигателя, составляет 300–400 часов [2]. Регламент предусматривает техническое обслуживание авиационных двигателей через каждые 150–200 часов. В случае установки одноразового фильтроэлемента и регламенте обслуживания двигателя 200 часов, каждый раз после получения пробы смыва необходимо устанавливать новый фильтроэлемент, что принесет эксплуатанту дополнительные издержки.

Фирмой PALL разработан и выпускается фильтроэлемент QA-07930-01 с диагностическим слоем DirtAlert. Диагностический слой представляет собой ленту, разделенную на две части (см. рис. 1), что дает возможность получать пробы с фильтра согласно установленному регламенту.

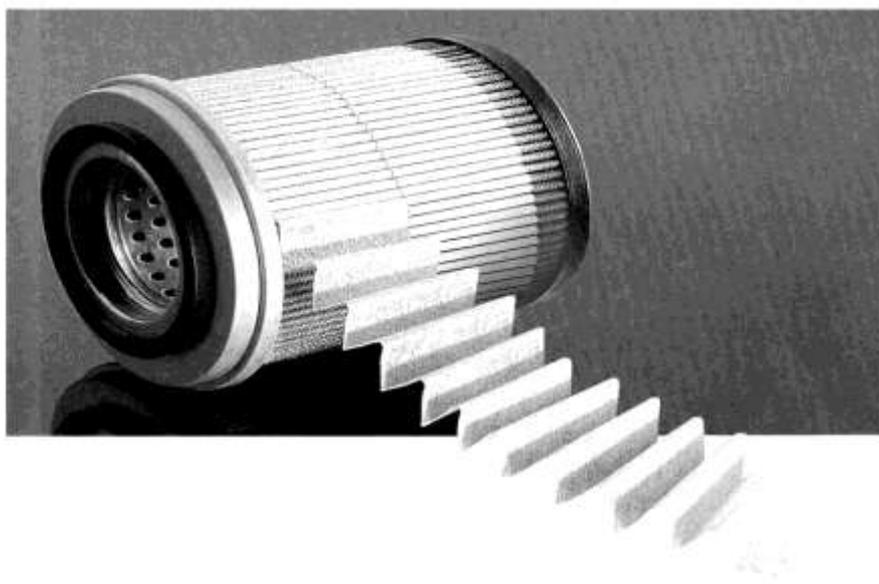


Рисунок 1 – Фильтроэлемент QA07930-01 с диагностическим слоем

Через 200 часов с начала эксплуатации фильтроэлемента QA-07930-01 с диагностическим слоем DirtAlert снимается информация с одной части ленты, через следующие 200 часов – с второй части ленты, через 600 часов с начала эксплуатации снимается непосредственно фильтроэлемент и производится с него смыв. При этом каждый раз при использовании части ленты фильтроэлемент может быть снова установлен в двигатель и эксплуатироваться до выработки его ресурса. Цель работы заключалась в разработке технологии извлечения частиц с фильтроэлемента, оснащенного диагностическим слоем, и оценке возможности использования полученной пробы смыва для диагностики узлов и сборочных единиц, омываемых маслом авиационных ГТД по результатам сцинтилляционных измерений.

Для получения смыва с диагностической ленты фильтроэлемента QA-07930-01 было разработано специальное лентопротяжное устройство. Устройство для получения смыва помещается в ультразвуковую ванну, на 2/3 заполненную нефрасом. Диагностическая лента протягивается через слой нефраса и за счет кавитационных явлений частицы изнашивания переходят с ленты фильтроэлемента в жидкость.

Полученный смыв отстаивается, нефрас сливается до получения мокрого осадка и далее заливается «чистым» маслом МС-8П. Полученная проба помещается для перемешивания в ультразвуковую ванну на 15 мин и поступает для анализа на сцинтилляционный спектрометр.

При оценке технического состояния системы смазки авиадвигателя, по результатам анализа пробы масла, отсутствует проблема в выборе диагностических параметров. В качестве таких параметров могут быть использованы абсолютные значения содержания металла и количество частиц изнашивания [2].

Использование абсолютных параметров для пробы смыва с маслофильтра в реальной практике практически не применимо, поскольку они зависят от большого числа факторов, которые невозможно учесть – времени наработки фильтра, типа двигателя и т. д.

При разработке технологии диагностирования [3] было выявлено, что в исправном двигателе в пробе масла и пробе смыва всегда в больших количествах присутствуют одноэлементные, «простые» частицы. С возникновением и развитием повреждения в анализируемых пробах увеличивалось количество частиц, состоящих из двух и более элементов, «сложных» частиц.

В качестве одного из основных диагностических признаков использовалось  $V_{\text{общ.}}$  – отношение общего количества «сложных» частиц к общему количеству «простых» частиц. Чем больше это отношение, тем хуже состояние двигателя [3].

Используя параметр  $V_{\text{эле.}}$ , можно определить элемент, ответственный за повышение  $V_{\text{общ.}}$ , и тем самым обратить внимание на сложные частицы, содержащие этот элемент, что, в конечном счете, позволяет более точно определить агрегат двигателя, подверженный износу.  $V_{\text{эле.}}$  – отношение общего количества «сложных» частиц к количеству «простых» частиц для определенного элемента.

Кроме того, были найдены дополнительные параметры, коррелирующие с техническим состоянием авиадвигателя [3]:

$R_0$  – доля количества частиц изнашивания, содержащих определённый элемент, в общем количестве частиц изнашивания (вклад частиц изнашивания по элементам);

$R_{\text{пр.}}$  – доля количества «простых» частиц изнашивания определённого состава в общем количестве частиц изнашивания (доля «простых» частиц изнашивания по элементам);

$R_{\text{сл.}}$  – доля количества «сложных» частиц изнашивания определённого состава в общем количестве частиц изнашивания (доля «сложных» частиц определённого состава, например Cu-Ag, Fe-Cr-Ni и т. д.);

$R_G$  – количество различных составов «сложных» частиц.

Доля частиц износа рассчитывалась как количество частиц определённого сорта, приходящихся на 1000 общих частиц. Тем самым устранялось влияние времени накопления частиц на фильтре, степени разбавления пробы.

Для оценки технического состояния двигателя использовалась статистическая эталонная модель исправного двигателя по параметрам частиц изнашивания. Модель строилась по результатам анализа большого количества проб с гарантированно исправных двигателей, находящихся в эксплуатации. Граничные значения по параметрам частиц для исправного двигателя рассчитывались следующим образом.

Очевидно, что исправные двигатели характеризовались разбросом параметров, зависящих от качества изготовленных деталей, условий эксплуатации, качества сборки и т. д. Погрешность результатов анализа также вносит свой вклад в значение величины дисперсии  $\sigma$ . Согласно формальному сложению дисперсий:

$$\sigma^2 = \sigma_{\text{износа}}^2 + \sigma_{\text{анализа}}^2 \quad (1)$$

где  $\sigma^2$  – дисперсия распределения для исправных двигателей,  $\sigma_{\text{износа}}^2$  – дисперсия распределения износа двигателя,  $\sigma_{\text{анализа}}^2$  – дисперсия погрешности анализа.

Опыт использования сцинтилляционного спектрометра показал, что всегда наблюдается  $\sigma_{\text{износа}}^2 > \sigma_{\text{анализа}}^2$ . С учетом сказанного, можно утверждать, что в диапазон результатов измерений от нуля до верхней границы ( $\bar{X} + \sigma$ ) входят  $(68 + \frac{32}{2})\%$  всех исправных двигателей. В диапазон до верхней границы ( $\bar{X} + 2\sigma$ ) входят  $(95 + \frac{5}{2})\%$  исправных двигателей, а за диапазоном ( $\bar{X} + 3\sigma$ ) исправные двигатели практически отсутствуют,  $\bar{X}$  – среднее значение измеренного параметра, которое определяется видом функции распределения данного параметра.

Установлено, что большинство параметров результатов измерений описывалось логнормальным распределением. Поэтому было проведено специальное исследование законов распределений результатов измерения параметров частиц изнашивания, найдены функции преобразования параметров к нормальному закону, рассчитано среднее значение для каждого параметра и дисперсия.

Ниже приведена эталонная статистическая модель по параметрам частиц изнашивания исправного двигателя ПС-90А, укомплектованного фильтроэлементом QA-07930 без диагностического слоя (табл. 1). Модель построена по результатам 77 анализов проб смывов с фильтроэлемента без учета наработки двигателя.

Таблица 1 – Статистическая модель исправного газотурбинного двигателя, оснащенного маслофильтром PALLQA-07930 без диагностического слоя

Параметр	Состав	$\bar{X}$	$\bar{X} + 2\sigma$	$\bar{X} + 3\sigma$
Вклад частиц R <sub>0</sub>	Mg-	250.14	528.35	741.50
	Cu-	311.36	655.78	919.27
	Ni-	40.40	79.07	107.54
	Fe-	154.56	290.54	388.58
	Ag-	126.50	306.35	454.22
	Cr-	51.91	106.88	148.45
	Al-	64.14	184.80	293.30
	V-	1.05	5.17	10.12

Продолжение таблицы 1

Параметр	Состав	X	X +2 $\sigma$	X+ 3 $\sigma$	
Вклад простых частиц R <sub>пр</sub>	Ni-	14.34	33.09	48.12	
	Fe-	90.26	209.04	304.48	
	Ag-	94.30	278.37	445.98	
	Cr-	11.36	33.23	53.05	
	Al-	41.50	143.99	245.55	
	Cu-	273.35	622.84	901.29	
	Mg-	187.87	460.69	686.43	
	V-	0.19	0.63	1.04	
Вклад сложных частиц R <sub>сл</sub>	Mg-Fe-	12.11	31.33	47.69	
	Cr-Fe-	10.22	27.59	42.69	
	Cr-Mg-	7.85	23.67	38.24	
	Mg-Cu-	7.62	19.36	29.26	
	Cr-Ni-Fe-	6.70	22.32	37.49	
	Al-Mg-	6.46	18.40	29.06	
	Mg-Ag-	6.36	20.87	34.83	
	Cu-Ag-	6.17	12.46	17.17	
	Ni-Fe-	5.09	18.29	31.61	
	Al-Fe-	3.70	10.56	16.69	
	Fe-Cu-	3.69	9.41	14.23	
	Fe-Ag-	3.50	9.21	14.11	
	Mg-Cu-Ag-	3.47	11.72	19.80	
	Al-Cu-	2.39	11.29	21.77	
	Параметр износа V <sub>элемент</sub>	Ni-	2.19	5.68	8.66
		Fe-	0.83	1.67	2.30
Cr-		4.69	11.77	17.70	
Al-		0.75	1.77	2.60	
V-		8.90	34.32	60.99	
Cu		0.19	0.58	1.12	
Mg		0.42	0.77	1.06	
Ag		0.46	1.58	3.4	
Параметр износа V <sub>общ</sub>		0.43	0.82	1.02	
Количество составов R <sub>G</sub>		82.64	121.83	141.42	

Очевидно, что для создания технологии диагностирования с использованием диагностического слоя необходимо для каждого слоя построить свою статистическую модель исправного двигателя. После этого провести сравнение по параметрам частиц изнашивания разработанных моделей с ранее полученной моделью для фильтроэлемента QA-07930

без диагностического слоя. В случае близости моделей, а в идеальном случае – полного совпадения, для оценки технического состояния узлов трения газотурбинного двигателя можно будет воспользоваться одной моделью. Это значительно бы упростило принятие диагностического решения.

Для проведения исследований десять двигателей ПС-90А, находящихся в эксплуатации, были оснащены фильтроэлементом с диагностическим слоем. При очередном техническом обслуживании лента снималась с фильтроэлемента, после чего отправлялась в лабораторию на анализ.

В ходе эксперимента для каждой ленты производилось по три смыва. Наибольшее количество частиц износа было получено в первом смыве, который в ходе подготовки к анализу приходилось разбавлять более чем в 10 раз. Во втором смыве, с этой же ленты, частиц обнаруживалось значительно меньше (разбавление производилось в 3–4 раза). Третий смыв анализировался без разбавления. Так же для каждой ленты был приготовлен и проанализирован суммарный смыв (от каждого из трех смывов брались аликвоты по 3 мл, сливались в одну емкость и подвергались обработке (перемешиванию) вУЗ ванне в течение 30 мин).

Таблица 2 – Сравнение параметров частиц для первого и суммарного смывов

№ двиг.	Смыв	V <sub>общ</sub>	V <sub>элемент</sub>						
			Al	Cr	Ni	Mg	Fe	Cu	Ag
00-025 (1 лента)	1	0,12	0,47	2,85	0,19	0,18	0,45	0,03	0,10
	суммарный	0,12	0,53	1,82	0,16	0,14	0,38	0,04	0,12
	σ	0,087	0,139	0,435	0,290	0,105	0,103	0,017	0,034
00-012 (1 лента)	1	0,22	0,58	2,94	0,84	0,43	0,63	0,08	0,33
	суммарный	0,09	0,37	3,71	0,27	0,26	0,37	0,04	0,20
	σ	0,061	0,104	0,925	0,233	0,147	0,110	0,019	0,055
00-012 (2 лента)	1	0,05	0,40	2,29	0,43	0,25	0,45	0,01	0,10
	суммарный	0,08	0,40	5,40	0,39	0,20	0,43	0,02	0,18
	σ	0,051	0,099	1,278	0,115	0,037	0,043	0,018	0,097
20-010 (1 лента)	1	0,09	0,49	1,66	0,44	0,19	0,29	0,03	0,18
	суммарный	0,07	0,38	0,92	0,32	0,18	0,28	0,02	0,11
	σ	0,020	0,154	2,735	0,142	0,083	0,064	0,008	0,269
00-033 (1 лента)	1	0,08	0,60	3,21	0,44	0,20	0,27	0,02	0,17
	суммарный	0,08	0,64	3,69	0,44	0,20	0,19	0,02	0,18
	σ	0,043	0,166	0,610	0,269	0,057	0,082	0,015	0,181

В табл. 2 приведены значения для двух основных параметров V<sub>общ.</sub> и V<sub>элемент.</sub> для первого и суммарного смывов, а также величины стандартных отклонений (дисперсии σ), рассчитанные для каждой ленты. Таблица показывает, что

в большинстве случаев значения параметров  $V_{\text{общ.}}$  и  $V_{\text{эле.}}$ . В первом смыве превышают, либо равны, в пределах погрешности измерений суммарного смыва. Поэтому при измерении параметров частиц с диагностического слоя представительным является первый смыв, по результатам анализа которого может приниматься диагностическое решение. Исключение составляют результаты по хрому для двигателя № 00-012. Здесь в суммарной пробе наблюдается превышение параметра  $V_{\text{общ.}}$  по Cr в 1,2–2,4 раза, что, вероятнее всего, связано с остатками технологических частиц после сборки двигателя.

Возможность принятия диагностического решения по техническому состоянию маслосистемы двигателей, оснащенных фильтроэлементом с диагностическим слоем с использованием эталонной статистической модели, приведенной в табл. 1.

Для этого было проанализировано 12 лент с 6 двигателей, первая и вторая часть ленты с каждого двигателя. Все ленты поступили на анализ с исправных двигателей, находящихся в эксплуатации. В табл. 3 приведены значения  $V_{\text{общ.}}$  и  $V_{\text{эле.}}$  для первых смывов, а также величины стандартных отклонений (дисперсии  $\sigma$ ), рассчитанных для каждой ленты.

Таблица 3 – Параметры частиц износа в пробах смыва с диагностических лент

№ двиг	Смыв с диагностического слоя	Наработка, час	$V_{\text{общ.}}$	$V_{\text{эле.}}$						
				Al	Cr	Ni	Mg	Fe	Cu	Ag
00-005	1 лента	316	0,03	0,76	6,00	0,19	0,15	0,14	0,01	0,09
	2 лента	614	0,04	0,84	2,33	0,34	0,31	0,18	0,02	0,18
	$\sigma$	-	<b>0,01</b>	<b>0,06</b>	<b>2,60</b>	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,06</b>
00-030	1 лента	302	0,14	3,57	0,74	0,53	0,38	0,27	0,07	0,59
	2 лента	621	0,07	3,64	0,49	0,61	0,49	0,24	0,02	0,27
	$\sigma$	-	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,18</b>	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,23</b>
00-031	1 лента	316	0,05	0,67	1,81	0,70	0,28	0,25	0,02	0,22
	2 лента	613	0,05	0,49	1,56	1,04	0,42	0,22	0,02	0,17
	$\sigma$	-	<b>0,00</b>	<b>0,13</b>	<b>0,18</b>	<b>0,24</b>	<b>0,10</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>
00-039	1 лента	343	0,07	0,35	3,63	1,11	0,22	0,14	0,02	0,15
	2 лента	667	0,06	1,07	1,96	1,75	0,28	0,28	0,02	0,27
	$\sigma$	-	<b>0,01</b>	<b>0,51</b>	<b>1,18</b>	<b>0,45</b>	<b>0,04</b>	<b>0,10</b>	<b>0,00</b>	<b>0,08</b>
00-052	1 лента	302	0,09	0,45	5,00	1,87	0,24	0,25	0,04	0,26
	2 лента	621	0,06	0,32	0,00	1,47	0,21	0,23	0,03	0,24
	$\sigma$	-	<b>0,02</b>	<b>0,09</b>	<b>3,54</b>	<b>0,28</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>
00-088	1 лента	343	0,10	2,24	2,11	1,16	0,37	0,31	0,04	0,36
	2 лента	666	0,09	0,56	2,77	1,01	0,27	0,17	0,03	0,26
	$\sigma$	-	<b>0,01</b>	<b>1,19</b>	<b>0,47</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,01</b>	<b>0,07</b>

Очевидно, что для использования ранее разработанной статистической модели, приведенной в табл. 1, необходимо, чтобы ни один из измеряемых параметров частиц для смыва с диагностической ленты не выходил за пределы  $\bar{X} + 3\sigma$  (в идеальном случае  $\bar{X} + 2\sigma$ ).

При рассмотрении протоколов сцинтилляционных исследований проб смывов с диагностических лент только в одном случае параметр  $V_{\text{эле.}}$  выходит за границы  $\bar{X} + 3\sigma$  (A1 в двигателе 00-030), в остальных случаях увеличение параметров не наблюдается. Выход параметра  $V_{\text{эле.}}$  за границу  $\bar{X} + 3\sigma$  связан, вероятнее всего, с незавершившейся приработкой двигателя.

Это позволяет сделать заключение, что для диагностирования двигателей ПС-90А с фильтроэлементом QA-07930-01 с диагностическим слоем DirtAlert можно использовать ранее разработанную статистическую модель исправного двигателя с фильтроэлементом QA-079-30 без диагностического слоя.

### **Выводы:**

Полученные в работе результаты можно сформулировать следующим образом:

– Разработана методика получения смыва с лент диагностического слоя DirtAlert фильтроэлемента QA-07930-01.

– Разделение диагностического слоя на две ленты позволяет проводить диагностику авиадвигателя ПС-90А без замены основного маслофильтра при регламенте обслуживания каждые 150–200 часов.

– Установлено, что для оценки технического состояния маслосистемы авиадвигателя по результатам сцинтилляционного анализа можно использовать первый смыв с диагностической ленты фильтроэлемента QA-07930-01.

– Для диагностики авиадвигателя ПС-90А, оснащенного фильтроэлементом QA-07930-01 с диагностическим слоем, возможно использование ранее разработанной статистической модели для фильтроэлемента QA-079-30 без диагностического слоя.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Пат. № 2251674, Российская Федерация, 7 G 01 M 15/00, G 01 N 3/56, Способ оценки технического состояния подшипников трансмиссии авиационных двигателей / М.С. Гайдай [и др.] заявитель ОАО «НПО «Сатурн», ООО «Диагностические технологии»; – № 2002132524; заявл. 03.12.2002; опубл. 10.05.2005. Бюл. № 13.

2. Пат. 2164344 РФ. G 01 M15/00, Способ контроля и прогнозирования состояния газотурбинных двигателей, преимущественно двигателей с межвальными подшипниками / С. П. Зарицкий [и др.]. Опубл. 20.09.2000.
3. Иноземцев, А. А. Состояние, перспективы развития спектральной трибодиагностики авиационных газотурбинных двигателей // Часть 4. Диагностические параметры и точки отбора пробы масла при оценке технического состояния авиационных ГТД по результатам спектральных измерений [текст] / А. А. Иноземцев, В. Г. Дроков, В. В. Дроков [и др.] // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 9 (159). – С. 20–28.

УДК 623.74.094

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СРОКОВ ЗАМЕНЫ МАСЕЛ В СИЛОВЫХ УСТАНОВКАХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Пушкарев А. Ю., Гончаров Д. В.**

**Леденева И. В.**

*(научный руководитель)*

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

Изучены физико-химические особенности процессов, приводящих к изменению состояния масла, и разработана универсальная модель изменения состояния масла по мере его наработки в двигателе.

*Ключевые слова:* эксплуатация ЛА, сроки замены масел, показатели качества масел, математическая модель.

При эксплуатации авиационной техники возникают проблемы, обусловленные старением авиационных масел в процессе их наработки. Последнее обстоятельство может привести к использованию масел с неудовлетворительными эксплуатационными свойствами и, соответственно, к повышению износа деталей двигателя. Очевидно, что научное обоснование сроков замены масла по экспериментально обоснованному ресурсу позволит решить многие проблемы, связанные с эксплуатацией летательного аппарата, а именно: уменьшение расхода времени и средств на восстановление

двигателей и элементов силовой установки воздушного судна; а также предотвращение их преждевременного выхода из строя.

Основная функция, которую выполняют авиационные масла – это снижение трения и износа трущихся деталей двигателя за счёт создания на их поверхности прочной масляной плёнки. Авиационные масла обладают определенным набором физико-химических показателей, которые характеризуют их эксплуатационные свойства: вязкостно-температурные, моюще-диспергирующие, антиокислительные, противоизносные, антикоррозионные свойства.

Антикоррозионные свойства авиационных масел зависят от состава базовых компонентов, концентрации антикоррозионных, антиокислительных присадок и деактиваторов металлов. В процессе старения коррозионность авиационных масел возрастает.

При функционировании двигателя непременно происходит изменение показателей качества авиационного масла, причём всегда в худшую сторону. Работоспособность масла обычно оценивают по одному или нескольким показателям предельного состояния. Под предельным состоянием понимается такое значение показателей качества масла, при достижении которых происходит заметное увеличение скорости изнашивания, увеличение осадкообразования, снижение надёжности и т. п.

Периодический контроль показателей качества позволяет проводить замену масел по фактическому состоянию и, таким образом, существенно сокращать потребность в свежих маслах, обнаруживать неисправности систем двигателя и предупреждать повышенный износ его деталей [1]. Эксплуатационная динамика свойств авиационных масел зависит от целого ряда факторов, основными из которых являются: исходные свойства масла, конструктивные особенности двигателя, его техническое состояние и режим работы, свойства масла, используемого для долива, технология технического обслуживания и условия работы летательного аппарата [2].

Для установления обоснованных сроков службы авиационного масла необходимо также располагать сведениями о характере загрязнений масла в процессе работы. Некоторые результаты исследования состава загрязнений отработавших масел приведены в работах [1–3].

Изменение большинства показателей качества масла происходит в первые часы работы двигателя, после чего значения этих показателей стабилизируются, причём стабилизация показателей прослеживается даже при значительном увеличении срока службы масла. Стабилизация этих показателей

затрудняет использование их для установления обоснованных сроков службы масла в эксплуатации. В большинстве случаев основной причиной их изменения является нарушение технического состояния двигателя. Существенное влияние на изменение этих показателей оказывает также режим работы двигателя.

Показатели качества работающих авиационных масел ухудшаются с увеличением наработки силовой установки летательного аппарата. Количественный процесс изменения качества по наработке оценивается надёжностью. В свою очередь, изменение состояния масла с наработкой связано с термоокислительными превращениями основы, срабатыванием функциональных присадок и накоплением в нём дисперсной фазы, снижающей коллоидную стабильность системы. Поэтому основными требованиями при прогнозировании поведения авиационного масла в двигателе являются достаточно надёжное моделирование протекающих процессов и научно обоснованное комплексирование единичных показателей качества масел.

Для характеристики состояния авиационных масел используется большое число единичных показателей. В зависимости от условий применения, предпочтение может отдаваться либо одним, либо другим. Вместе с тем, целесообразно выделить показатели состояния авиационных масел или их качества, наиболее значимые, вне зависимости от условий применения, т. е. выбрать наиболее универсальные или информативные единичные показатели. Это тем более важно для описания изменения общего состояния масла, с целью исключения возможных последующих ошибок, при выводе прогнозных зависимостей или сведение этих ошибок к минимуму.

Основными методами оценки качества масла в двигателе и его влияния на надёжность и долговечность являются эксплуатационные испытания. Это обусловлено тем, что отдельные физико-химические показатели масла, служащие в основном для контроля при его производстве, не могут в полной мере характеризовать состояние масла в процессе его работы в двигателе. Поэтому, по мнению многих исследователей [например, 2, 3], старение масла и режим его замены необходимо определять на основе измерения комплексных показателей (наиболее сильно влияющих на параметры работы двигателя). Причём, замену масла в двигателе необходимо осуществлять, если достигнуты предельные значения одного или нескольких браковочных показателей.

Ряд исследователей [4, 5] считают, что оценка качества масла по одному или нескольким диагностическим показателям часто приводит к ошибкам, так как показатели, выраженные в фактических единицах – величина

случайная. Поэтому оценивать качество масла по их абсолютным значениям нельзя. Изменение уровней этих показателей по разному влияет на степень старения моторного масла и, следовательно, на скорость изнашивания деталей двигателя.

Очевидно, что замена масла по фактическому состоянию решает многие проблемы, в частности, удешевляет эксплуатацию двигателей и предотвращает их преждевременный выход из строя. Попытки такого перехода базируются на измерении или оценке единичных, комплексных или обобщённых показателей работающего масла. Однако следует отметить, что до сих пор нет метода, позволяющего получить объективные сведения о работоспособности масел.

Интенсивность изменения физико-химических показателей масла зависит, главным образом, от наработки двигателя в авиационной технике. Была рассмотрена взаимосвязь между наработкой двигателя, эксплуатационными свойствами работающего масла и их показателями качества (рис. 1).

Предельные значения показателей качества масла приведены в технической документации. Исходные значения (для свежего масла) устанавливаются стандартом.

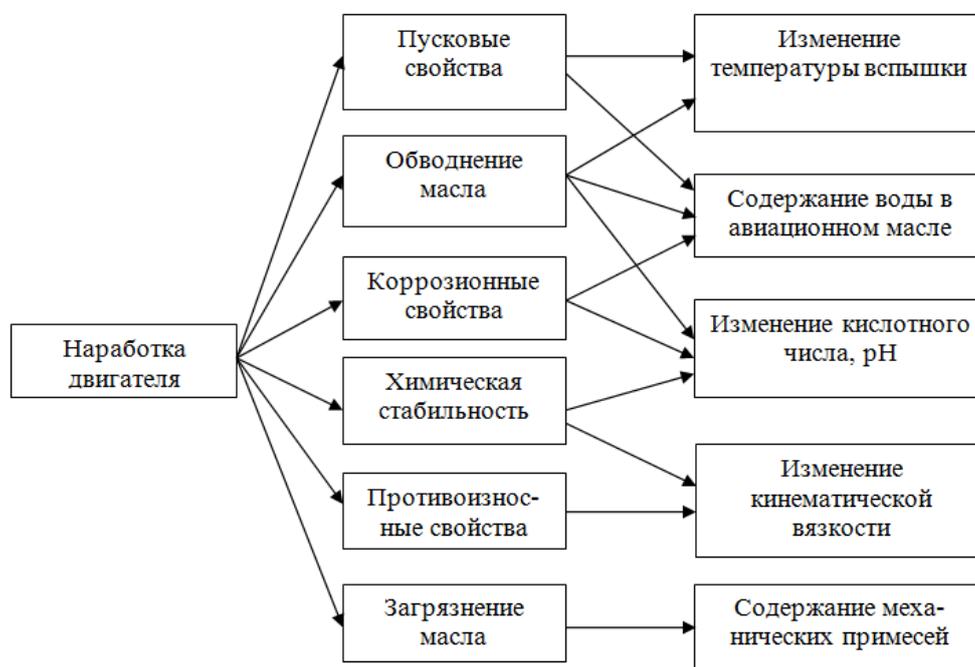


Рисунок 1 – Взаимосвязь наработки двигателя и изменения показателей качества авиационного масла

При разработке модели формирования реализуемого ресурса авиационного масла использовалась концепция пространственно-временного подхода к оценке качества масел. В соответствии с ней, суть предлагаемой модели формирования реализуемого ресурса масла состоит в следующем. Качество авиационного масла меняется по мере изменения наработки двигателя, которая является функцией, зависящей от времени эксплуатации.

Для реализации предлагаемой модели необходимо установить закономерности, описывающие изменение качества авиационного масла во времени, установить вид математических моделей этих закономерностей и разработать имитационную модель формирования реализуемого ресурса авиационного масла. Модель формирования реализуемого ресурса масла позволяет определить текущее состояние работающего масла для заданных условий эксплуатации.

Предположим, что изменение показателей качества масел зависит от одного фактора – наработки в двигателе. Это так называемый однофакторный эксперимент. Классическое планирование такого эксперимента заключается в том, что первоначально устанавливается нижнее или верхнее значение фактора, т. е. один из его предельных уровней, и затем последовательно снизу-вверх, или наоборот, изменяются значения фактора скачками, согласно принятому интервалу варьирования. В целом, работа модели в соответствии с алгоритмом состоит из следующих действий:

1. Генерируется начальное состояние. Определяется наработка двигателя ЛА.
2. Задаётся приращение времени  $\Delta T$ . Приращение выбирается из всего интервала времени использования масла.
3. Рассчитывается приращение наработки двигателя в интервале времени  $\Delta T_i$ .
4. Суммируется приращение наработки двигателя  $\Delta T_i$ .
5. Рассчитывается по каждому показателю качества масла его текущее значение, и полученные значения показателей качества  $Y_{ij}$  масла сравниваются с предельными значениями  $Y_{пр}$ .
6. Если  $Y_{ij} < Y_{пр}$ , то проверяется условие достижения времени окончания моделирования  $T_2$ . Если  $T_1 < T_2$ , то счётчик циклов увеличивается на единицу, задаётся очередное приращение времени, и расчёты продолжаются по очередному циклу. Если же  $Y_{ij}$  достигает  $Y_{пр}$ , тогда определяется ресурс масла  $L_{пред}$  или  $W_{пред}$ , т.е. наработка, в течение которой показатель качества меняется от начального значения  $Y_{ij}$  до предельного  $Y_{пр}$ .

7. Имитация замены масла. Имитация замены заключается в присвоении маслу исходных значений показателей качества.

8. Проверка на окончание моделирования. Если ни один показатель качества не достиг своего предельного состояния, или осуществлена имитация замены о масла, то проверяется условие  $T_i < T_2$ , при его выполнении начинается новый цикл, в ином случае расчёты прекращаются.

Если исследуется однофакторная зависимость, то матрица плана имеет вид, представленный в табл. 1.

Таблица 1 – Исследование однофакторной зависимости

№ опыта	Уровень фактора, X	Функция отклика, Y				
		Температура вспышки	Кинематическая вязкость	Кислотное число	Плотность	pH
1	$\Delta T_1$	$Y_{1,1}$	$Y_{2,1}$	$Y_{3,1}$	$Y_{4,1}$	$Y_{5,1}$
2	$\Delta T_2$	$Y_{1,2}$	$Y_{2,2}$	$Y_{3,2}$	$Y_{4,2}$	$Y_{5,2}$
3	$\Delta T_3$	$Y_{1,3}$	$Y_{2,3}$	$Y_{3,3}$	$Y_{4,3}$	$Y_{5,3}$
4	$\Delta T_4$	$Y_{1,4}$	$Y_{2,4}$	$Y_{3,4}$	$Y_{4,4}$	$Y_{5,4}$
5	$\Delta T_5$	$Y_{1,5}$	$Y_{2,5}$	$Y_{3,5}$	$Y_{4,5}$	$Y_{5,5}$

По мере наработки двигателя летательного аппарата, находившегося под наблюдением, отбираются пробы масел для анализа. Оценка эксплуатационных свойств масел производится на основе результатов анализов отобранных проб по наиболее значимым показателям качества (температура вспышки масла, плотность масла, кислотное число, водородный показатель, кинематическая вязкость). После проведения необходимых экспериментов строят зависимости, характеризующие закономерность изменения показателей качества работавшего масла от наработки двигателя. Для проверки адекватности выбранных математических моделей, описывающих влияние наработки двигателя на изменения показателей качества масла, необходимо рассчитать основные статистические характеристики (коэффициенты корреляции и детерминации) и найти численные значения параметров указанных моделей.

При анализе полученных математических моделей выявляют функции, которые достигают своего критического значения до достижения предельного срока наработки в двигателе.

Таким образом, изучены физико-химические особенности процессов, приводящих к изменению состояния масла и разработана универсальная модель изменения состояния масла по мере его наработки в двигателе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, А. И. Изменение качества масла и долговечность автомобильных двигателей ТГУ [текст] / А. И. Соколов. – Томск: 1976. – 122 с.
2. Гурьянов, Ю. А. Комплексное изменение свойств работающих масел [текст] / Ю. А. Гурьянов // Химия и технология топлив и масел. – 2002. – № 6. – С. 21–23.
3. Скиндер, Н. И. О необходимости систематического контроля качества работающих авиационных масел [текст] / Н. И. Скиндер, Ю. А. Гурьянов // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – № 5. – С. 28–30.
4. Головных, И. М. Замена моторного масла по фактическому состоянию [текст] / И. М. Головных, Е. В. Носова // Автомобильная промышленность. – 1998. – № 1. – С. 23–24.
5. Лышко Г. П. Оптимизация сроков замены моторного масла [текст] / Г. П. Лышко, Г. Г. Левшанов, А. М. Геленов, В. А. Шилин // Химия и технология топлив и масел. – 1982 – № 11. – С. 32–34.

УДК 621.892

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКОЛОАЭРОДРОМНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Куликов А. С., Загородных И. Г.**

**Головнева Т. И.**

*(научный руководитель)*

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

В работе рассматриваются наиболее распространённые виды загрязнений, обусловленные военной деятельностью, а также способы очистки и восстановления околоаэродромных территорий от загрязнений нефтепродуктами.

*Ключевые слова:* загрязнение окружающей среды, топлива, нефтепродукты, экология.

На сегодняшний день проблемам, связанным с загрязнением аэродромных территорий нефтепродуктами, уделяется большое внимание на всех уровнях (государственном, ведомственном и т. д.). Военная деятельность относится к наиболее опасным видам техногенной деятельности. Современная военная

авиационная техника (АТ) и обеспечивающая её функционирование наземная инфраструктура оказывают значительное воздействие на окружающую природную среду. Боевые и транспортные самолёты и вертолёты, аэродромное хозяйство, склады горюче-смазочных материалов (ГСМ) с заправочными средствами, радиолокационные системы, в целом военные городки авиационных гарнизонов являются специфическими источниками загрязнения. Возможные последствия их воздействия на окружающую среду могут лежать в широком диапазоне: от выброса авиационными двигателями продуктов сгорания в атмосферу до разрушения сложившихся биогеоценозов.

В соответствии с приказом министра обороны Российской Федерации № 530 от 14 сентября 2015 г. «Об утверждении Положения об органах экологической безопасности Вооруженных сил Российской Федерации» определены цель и задачи обеспечения экологической безопасности Вооруженных сил Российской Федерации, а также построение, предназначение и функции органов военного управления, организаций и должностных лиц, выполняющих обязанности по руководству обеспечением экологической безопасности (ОЭБ) и отвечающих за ОЭБ.

Под ОЭБ Вооруженных сил понимается комплекс мер правового, организационно-технического, социально-экономического, воспитательного и иного характера, проводимых в целях защиты жизненно важных интересов военнослужащих, гражданского персонала, населения от возможного негативного воздействия деятельности Вооруженных сил, предотвращения и ликвидации экологических последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на объектах Вооруженных сил.

ОЭБ является отдельным направлением деятельности органов военного управления всех уровней, воинских частей, должностных лиц, военнослужащих и гражданского персонала.

Загрязнение окружающей природной среды авиационными топливами и продуктами их сгорания имеет некоторые особенности. В реактивной авиации наиболее распространённым топливом является авиационный керосин. Увеличенное содержание циклических соединений, в том числе ароматических, значительно повышает его токсичность.

Наибольшее загрязнение окружающей среды происходит в зоне аэродромов во время посадки и взлёта самолётов, а также во время прогрева их двигателей.

При работе двигателей на взлёте и посадке в окружающую среду поступает наибольшее количество оксида углерода и углеводородных соединений, а в процессе полёта – максимальное количество оксидов азота.

Рулёжные дорожки считаются участками умеренного выделения газа вследствие выделения кратковременности нахождения на них самолётов.

В воздушную среду в зоне аэродрома, в результате его деятельности, даже без учёта загрязнения воздуха спецавтотранспортом и другими наземными источниками, поступает огромное количество загрязнений, например оксида углерода, углеводородных соединений, оксидов азота.

При чрезвычайных и аварийных ситуациях самолёты вынуждены сливать в воздухе излишнее топливо для уменьшения посадочной массы. Количество топлива, сливаемого самолётом за 1 раз, колеблется от 1–2 тыс. до 50 тыс. литров.

Но опаснее другое. При полёте в нижних слоях стратосферы двигатели сверхзвуковых самолётов выделяют оксиды азота, что ведёт к окислению озона. В стратосфере происходит интенсивное взаимодействие солнечных лучей с молекулами кислорода. В результате молекулы распадаются на отдельные атомы, а те, присоединяясь к сохранившимся молекулам кислорода, образуют озон. Область повышенной концентрации озона, так называемая озоносфера, которая приходится на высоты 20–25 км, играет очень важную роль для Земли.

Основными источниками загрязнения являются и технологические проливы при заправке и обслуживании топливных систем летательных аппаратов, потери при транспортировании и хранении топлив, слив не выработанного топлива из самолётов в воздухе в аварийных ситуациях, велика токсичность продуктов сгорания реактивных топлив в авиационных газотурбинных двигателях. Продукты сгорания авиатоплив наиболее неблагоприятное воздействие на окружающую природную среду оказывают именно в районе аэродромов.

На территориях, сильно загрязнённых токсичными веществами, необходимо создавать инженерно-экологические системы, т. е. постоянно или длительное время действующий комплекс сооружений и мероприятий, направленных на восстановление естественной самоочищаемости компонентов загрязнённых геосистем, локализацию очага загрязнения, уменьшение поступления и активное удаление загрязняющих веществ, обеспечивающее экологически безопасное существование биоты, включая и человека.

Организация мероприятий по ОЭБ возлагается на службу (экологической безопасности) Штаба МТО Вооружённых сил, службы (экологической

безопасности) военных округов, службы (экологической безопасности) объединений и соединений, региональные экологические центры военных округов и службы (экологической безопасности) (должностные лица) воинских частей. Органы экологической безопасности Вооруженных сил предназначены для организации ОЭБ в пределах своей компетенции на территориях военных объектов, в районах дислокации (базирования) и деятельности войск (сил). При этом основная деятельность органов экологической безопасности Вооруженных сил направлена на:

- сбор, ведение учета и представление сведений за военный округ о негативном воздействии войск (сил) на окружающую среду, итогов федерального государственного экологического надзора и ведомственного (производственного) экологического контроля воинских частей, а также обобщение полученных из воинских частей и отделений РЭЦ донесений по ОЭБ и представление сводных донесений в службу (экологической безопасности) военного округа (Северного флота);

- оказание помощи воинским частям в организации ликвидации экологических последствий чрезвычайных ситуаций;

- разработку и представление предложений по совершенствованию ОЭБ;

- разработку нормативов допустимого воздействия на окружающую среду военных объектов, включая техническое, методическое и программное обеспечение, обучение персонала, уплату госпошлин;

- организацию очистки и восстановления загрязненной окружающей среды на военных объектах;

- выявление, ведение учета и анализ негативно влияющих на окружающую среду факторов военной службы и источников загрязнения окружающей среды за соединение;

- разработку и представление предложений по совершенствованию ОЭБ; организация снижения (предотвращение) негативного воздействия войск (сил) на окружающую среду;

- организация в пределах своей компетенции ликвидации последствий негативного воздействия на окружающую среду;

- организация ликвидации экологических последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на военных объектах.

Таким образом, необходимо проведение исследовательских работ, направленных на разработку и совершенствование как технических средств контроля состояния окружающей среды, так и методического аппарата,

позволяющих эффективно реализовывать основные положения по обеспечению экологической безопасности.

Целью нашей работы является разработка мероприятий по снижению (предотвращению) негативного воздействия военных объектов, образцов вооружения и военной техники (авиационной техники) на личный состав и военные объекты при повседневной деятельности войск (сил).

Достижение поставленной цели требует решения следующих частных задач:

- анализ и обобщение методик определения содержания токсичных веществ в атмосфере, почве и водоемах аэродромных территорий;

- химическая, токсикологическая и экологическая оценка вредного воздействия авиационных топлив на аэродромные территории;

- разработка научно-методического аппарата по оценке и нивелированию влияния нефтепродуктов на безопасность персонала, выполняющего эксплуатацию АТ;

- разработка и представление предложений по совершенствованию ОЭБ и снижению (предотвращению) негативного воздействия авиационных частей на окружающую среду при повседневной деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов. – Вып. 9 – Ч.3. – М.: РУДН, 2007. – 283 с.
2. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин // Т. 2 – Калуга.: , 2003. – 880 с.
3. Николайкин, Н. И. Экология / Н. И. Николайкин // М.: Дрофа, 2003. – 624 с.
4. Мусихина, Е. А. Мониторинг почв территории Иркутской области / Е. А. Мусихина, Т. И. Головнева // Успехи современного естествознания. – Иркутск: 2008. – №7. – С. 58–60.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКОВЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ВИХРЕЙ КОРИОЛИСОВОЙ СИЛЫ У ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЭРОДРОМА

Киренчев А. Г.<sup>1</sup>, Бильдаков Е. М.

<sup>1</sup>*antonkirenchev25@mail.ru.*

**Даниленко Н. В.**

*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*

*Московского государственного технического университета*

*гражданской авиации*

*(г. Иркутск)*

Рассматривается математическое моделирование стоковых вихрей у подстилающей поверхности при работе ГТД на земле. Предложена постановка задачи математического моделирования кориолисовых вихрей на базе нового граничного условия кориолисова ускорения. Получены высотные характеристики стокового течения и зависимости активности вихря от времени его формирования (количества итераций). Задача решена в нестационарной постановке на базе идеальной несжимаемой жидкости, потенциал скорости задавался интенсивностью стока, подбираемой по параметру  $V_{\Gamma \max}$ , взятому из натурного эксперимента. Полученные результаты качественно отображают характеристику засасывания посторонних предметов при работе ГТД на земле. Выявлена проблема необходимости учета рассеивания энергии вихревого движения перед воздухозаборником, решение которой будет представлено в последующих публикациях.

*Ключевые слова:* кориолисово ускорение, стоковые вихри воздухозаборника, постановка задачи математического моделирования, высотная характеристика стокового вихреобразования.

С момента появления реактивной авиации возникла проблема вихревого засасывания посторонних предметов (ПП), льда, песка и пыли в проточную часть силовой установки с газотурбинным двигателем, работающим на земле на максимальных режимах. Засасывание ПП сопровождалось инерционным разрушением элементов проточной части воздухозаборника, входного направляющего аппарата и ступеней компрессора (лопаток рабочих колес и лопаток направляющих и спрямляющего аппаратов). Последствиями разрушений элементов проточной части компрессора являются вмятины, деформации, сколы, трещины и другие дефекты лопаток компрессора. При превышении нормативных значений на указанные дефекты (повреждения) ГТД досрочно снимался с эксплуатации и отправлялся на капитальный ремонт.

Последствиями досрочного снятия двигателей с эксплуатации (ДСД) являлись убытки авиационных предприятий на потерю ресурса, убытки на капитальный ремонт, а также на срыв и не выполнение плановых полетных заданий. Возникла проблема не только экономического характера, но и безопасности полетов. Поврежденный на рулении и взлете двигатель мог отказать в полете, что сопровождалось бы потерей не только ВС, но и человеческих жизней пассажиров и экипажа, цена которых несоизмерима с экономическими потерями.

До настоящего времени установлен рабочий процесс интерференционных вихрей воздухозаборников, а также разработаны программы их математического моделирования [1]. Исследования ядра вихря показали особую роль разрежения ядра вихря в отрыве от подстилающей поверхности аэродрома кусочков отслоившегося бетона, льда и других элементов аэродромного покрытия. Следовательно, рабочий процесс вихревого засасывания ПП будет более полным, когда кроме учета интерференционного вихреобразования будет установлен рабочий процесс образования вихрей воздухозаборников в поле кориолисовой силы и его ускорения. Механизм моделирования кориолисовых вихрей воздухозаборников пока не отработан в силу трудности определения циркуляции их вихревых элементов (нитей).

Первые исследования моделирования кориолисова образования вихрей под гипотетическим воздухозаборником – стоком, расположенным над подстилающей поверхностью аэродрома на высоте, соизмеримой с 1–5 эквивалентными диаметрами входа в воздухозаборник, показали явную циклоническую закрутку стокового потока – в сторону направления суточного вращения Земли.

Для отработки математического моделирования стоковых вихрей кориолисовой силы целесообразно использовать метод дискретных вихрей (МДВ) [2], поскольку он позволяет вводить новые граничные условия, отвечающие эффекту отклоняющего действия силы Кориолиса. Данное граничное условие вводится включением в расчет кориолисовой скорости [3], вычисленной из одноименного ускорения, по формуле

$$c_k = 2\omega_3 U \sin \lambda \Delta t, \quad (1)$$

где:  $\omega_3$  – угловая скорость суточного вращения Земли;  $U$  – скорость относительно подстилающей поверхности Земли;  $\lambda$  – географическая широта в точке проявления кориолисова ускорения;  $\Delta t$  – время действия кориолисова ускорения.

В рассматриваемой задаче исследуется поле стокового течения под изолированным воздухозаборником, находящимся на высоте  $H$  над подстилающей поверхностью (рис. 3). Для упрощения моделирования воздухозаборник заменяется стоком, находящимся на такой же высоте над поверхностью экрана. Детальное описание граничных условий задачи математического моделирования стоковых техногенных вихрей кориолисовой силы уже было рассмотрено в работе авторов [4], поэтому ниже укажем только основные из них.

Подстилающая поверхность (экран) – плоская, непротекаемая, беконечная.

Среда – сплошная идеальная несжимаемая жидкость.

Состояние среды – установившееся, стоковое течение.

Активность стокового течения определяется интенсивностью стока.

Подстилающая поверхность плоская, бесконечная, непроницаемая, смоделированная зеркальным отображением стока.

Базовый закон, положенный в основу решаемой задачи – закон Био – Савара:

$$c_{x,y,z} = \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{1}{r_{x,y,z}}, \quad (2)$$

где  $\Gamma$  – циркуляция вихря;  $r_{x,y,z}$  – радиус-вектор от исследуемой точки до ВЗ в трехмерной системе координат.

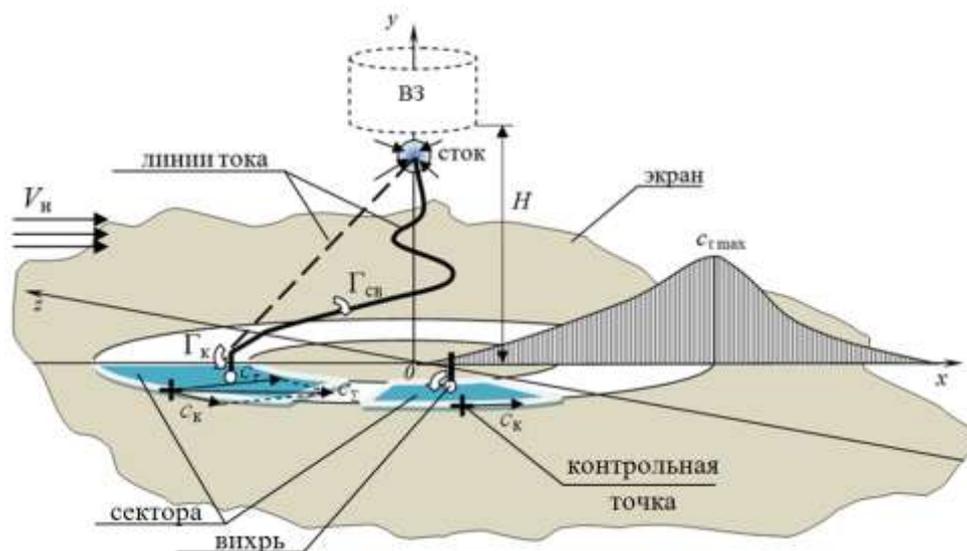


Рисунок 1 – Принципиальная схема моделируемой задачи

После введения всех граничных условий на подстилающей поверхности под ВЗ выбирается круговая область, которая разбивается на сектора (рис. 1). На каждом секторе ставится присоединенный вихрь с циркуляцией кориолисовой силы  $\Gamma_k$  и определяющая его контрольная точка. К контрольной точке приложено несколько скоростей: стоковая тангенциальная скорость  $c_\tau$ , направленная в точку мнимого стока, и скорость от кориолисового ускорения, отклоняющая точку вправо относительно направления тангенциальной скорости. Первая вычисляется из закона Био-Савара (2), вторая по формуле одноименного ускорения (1). В упрощенном виде для нахождения результирующей скорости  $c_\Sigma$  достаточно сложить эти скорости по правилу векторов, как показано на рис. 3. По величинам указанных проекций установим направление стокового течения. Далее выбираем временной шаг  $\Delta t = 1$  с и с его помощью определим положение следующей точки.

Пошаговое решение задачи с дискретностью  $\Delta t$  позволит в процессе прироста исследуемого времени  $t = t_0 + \Delta t_i$  выстроить вихревые структуры и получить методом накопления и аккумуляции вихревых нитей под стоком вихревой шнур суммарной интенсивности, преобразующий потенциальное стоковое течение в течение вихревое.

Для наглядной демонстрации результатов расчета построим вихревые характеристики смоделированного вихревого течения. Для этого выведем результаты расчетов скорости на подстилающей поверхности ( $Y = 0$ ) по линии  $Ox$  (рис. 1) при разной высоте расположения стока  $H$ . Результаты расчета сведем в табл. 1. Максимальную тангенциальную скорость для каждой высоты расположения стока выделим серым цветом.

Таблица 1 – Результаты расчета

Отдаление от точки мнимого стока $Ox$	Тангенциальная скорость $c_\tau$			
	$H= 0,5$	$H= 1$	$H= 1,5$	$H=2,5$
0	0	0	0	0
0,3	17	5,5	1,5	0,4
0,5	14,8	6,7	2,1	0,6
0,8	7	3,2	2,6	1
1	3,7	2,1	1,8	1,4
1,3	1,7	1,4	1,2	0,7
1,5	1,3	1	0,8	0,4
1,8	0,8	0,4	0,4	0,16
2	0,3	0,3	0,2	0,1
2,3	0	0	0	0

На основе полученных результатов строим графики зависимости тангенциальной скорости  $c_\tau$  (рис. 2) и максимальной тангенциальной скорости  $c_{\tau max}$  (рис. 3) от высоты расположения стока  $H$ .

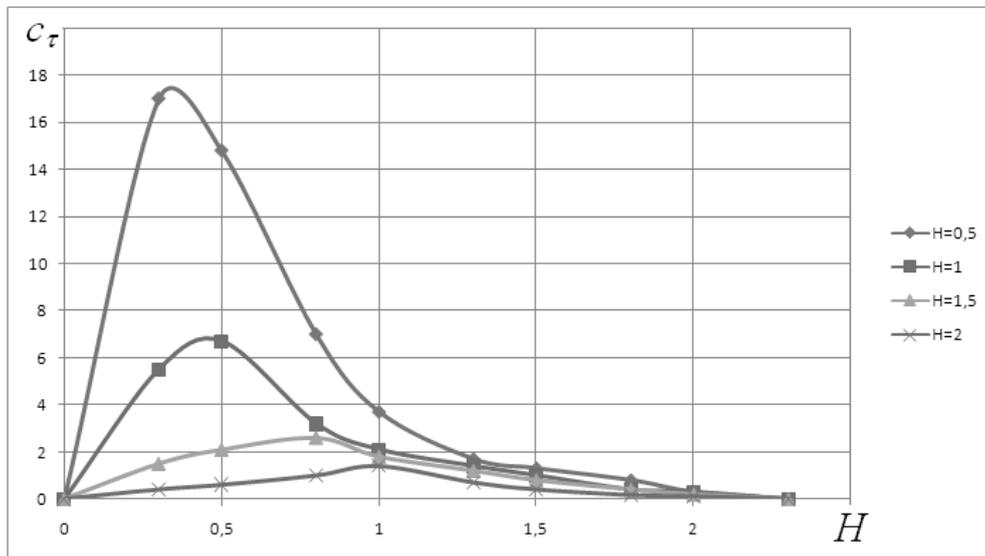


Рисунок 2 – Зависимости тангенциальной скорости от высоты расположения стока над подстилающей поверхностью

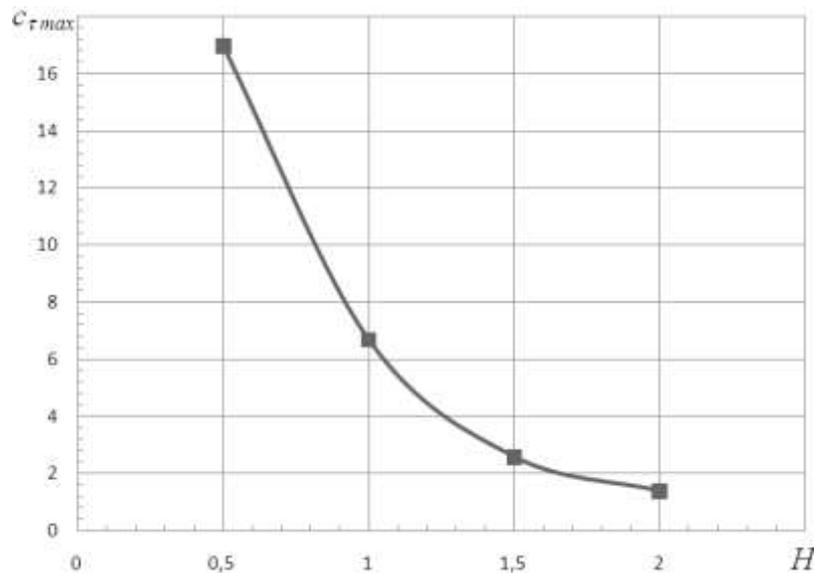


Рисунок 3 – Зависимости максимальной тангенциальной скорости от высоты расположения стока над подстилающей поверхностью

Для проверки корректности проведенных расчетов сравним график на рис. 3 с графиком, взятым из учебного пособия [5] (рис. 4).

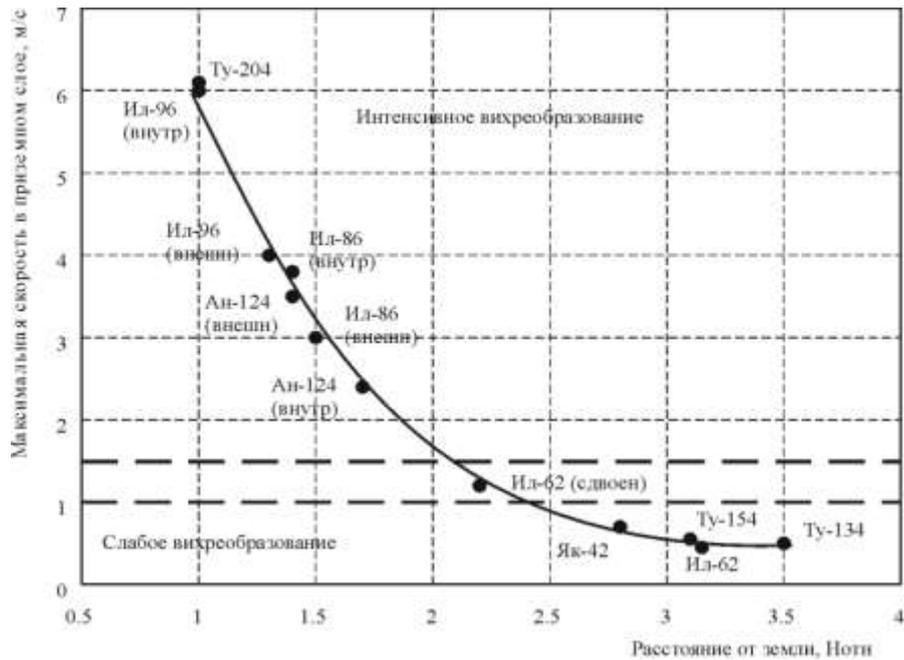


Рисунок 4 – Зависимость максимальной скорости в приземном слое от высоты расположения воздухозаборника

Как видим, графики 3 (рассчитанный) и 4 (эталонный) схожи между собой, что говорит о корректности расчета математической модели.

Далее построим график зависимости суммарной циркуляции моделируемого вихря  $\Sigma\Gamma$  от количества итераций  $i$  (рис. 5).

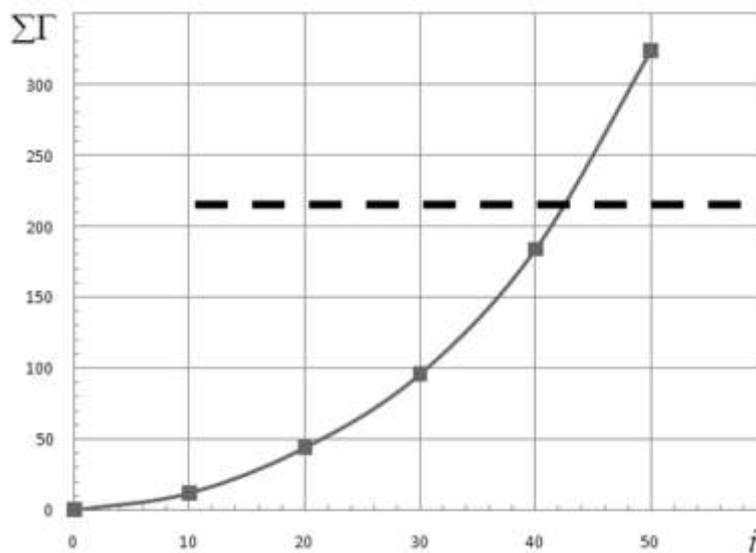


Рисунок 5 – Зависимость суммарной циркуляции моделируемого вихря от количества итераций

По рис. 5 можно сделать вывод, что с увеличением количества итераций суммарная циркуляция вихря растёт в геометрической прогрессии

и не стабилизируется, т. е. стремится к бесконечности. Данный факт противоречит действительности, поэтому для корректного расчета при большом количестве итераций необходим ввод нового граничного условия – рассеивание энергии вихревого движения (циркуляции скорости) со временем. После ввода данного условия величина суммарных циркуляций должна стабилизироваться и не изменяться после достижения определенного числа итераций (на рис. 5 стабилизация показана жирной линией, параллельной оси  $i$ ).

По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что применение МДВ целесообразно для решения задач математического моделирования стоковых техногенных вихрей кориолисовой силы у подстилающей поверхности. Также следует добавить, что для получения корректных результатов при большом времени существования вихря ( $i > 40$ ) необходим ввод нового граничного условия – рассеивание энергии вихревого движения. Определение данного граничного условия является задачей последующей работы авторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Даниленко, Н. В. Теория вихрей перед воздухозаборниками самолетов при работе газотурбинных двигателей на аэродроме: монография [текст] / Н. В. Даниленко, П. М. Кривель, С. В. Пахомов, А. М. Сафарбаков, М. М. Федотов. Изд. 2 (дополн.). – Иркутск: МГТУ ГА (Ирк. фак-т), 2011. – 350 с.
2. Аэродинамика боевых летательных аппаратов и гидравлика их систем [текст] / под ред. М. И. Ништа. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1994. – 570 с.
3. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики: учебник для вузов. [текст] / С. М. Тарг 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 416 с.
4. Киренчев А. Г. Проблемы математического моделирования МДВ стокового вихреобразования у подстилающей поверхности / А. Г. Киренчев, Н. В. Даниленко // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов V Всероссийской научно-технической конференции. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2016. – С. 289–295.
5. Иноземцев, А. А. Газотурбинные двигатели [текст] / А. А. Иноземцев, В. Л. Сандрацкий. – Пермь: ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1204 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЕМ  
В РАДИАЛЬНЫХ ЗАЗОРАХ РАБОЧИХ КОЛЕС ОСЕВЫХ  
КОМПРЕССОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО  
КОМПЛЕКСА ANSYS**

**Ландихов А. М., Разинкин М. А.**

**Алексеев А. А.**  
(научный руководитель)

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

В статье представлены результаты математического моделирования течения рабочего тела в радиальном зазоре осевых компрессоров с применением пассивного управления течением, а именно, щелевого перепуска.

*Ключевые слова:* пассивное управление течением, осевой компрессор, щелевой перепуск, ANSYS.

Основным параметром современной истребительной авиации является маневренность во время ведения воздушного боя. Маневренность Су-27 обеспечивается, в том числе, работой двигателя на переходных режимах [1]. Для обеспечения работы силовой установки на переходных режимах предлагается усовершенствование осевого компрессора двигателя АЛ-31Ф путем пассивного управления обтеканием, при котором воздействие на пограничный слой осуществляется перераспределением энергии в потоке без внесения дополнительной энергии.

Цель модификации заключается в улучшении характеристик двигателя АЛ-31Ф, установленного на данном типе летательного аппарата, за счет повышения запаса газодинамической устойчивости, путем применения пассивного управления вторичными течениями в рабочих колесах осевого компрессора (щелевого перепуска) (рис. 1).

Применение авиационных ГТД с улучшенными характеристиками позволит расширить границы пилотирования, повысить маневренность, тяговооруженность и эффективность самолета.

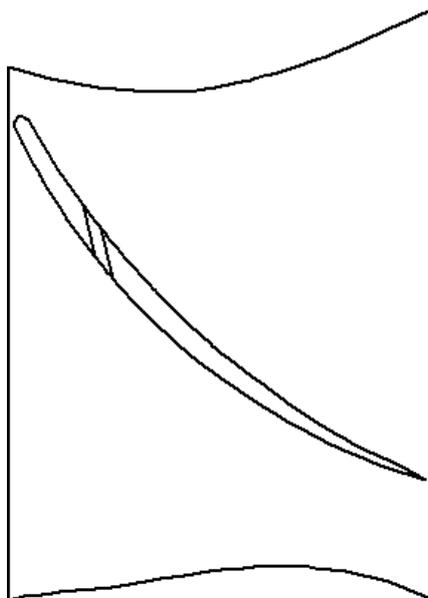


Рисунок 1 – Щелевой перепуск на лопатке

Для подтверждения эффективности применения надроторных устройств проведены математические расчеты.

Для этого созданы трехмерные модели профилей лопаток КВД двигателя АЛ-31Ф.

Данные трехмерные модели были загружены в программный комплекс ANSYS [2]. Для получения численного решения выполнено разбиение геометрической модели конечно-элементной сеткой, которая является основой для составления и решения системы уравнений в матричном виде (рис. 2).

После создания оптимальной конечно-элементной модели задаются граничные условия (рис. 3). Правильное задание граничных условий, основанное на глубоком понимании физических явлений, является важным критерием получения адекватных и точных результатов.

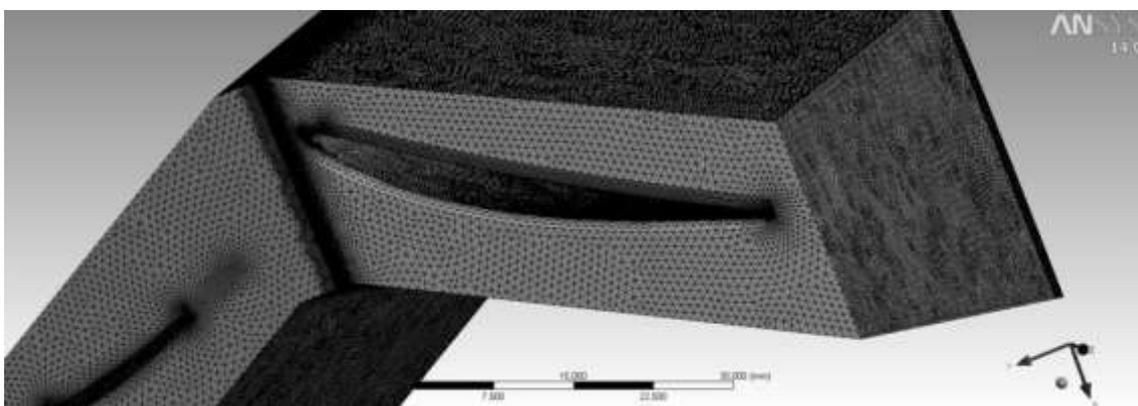


Рисунок 2 – Геометрическая модель с сеткой

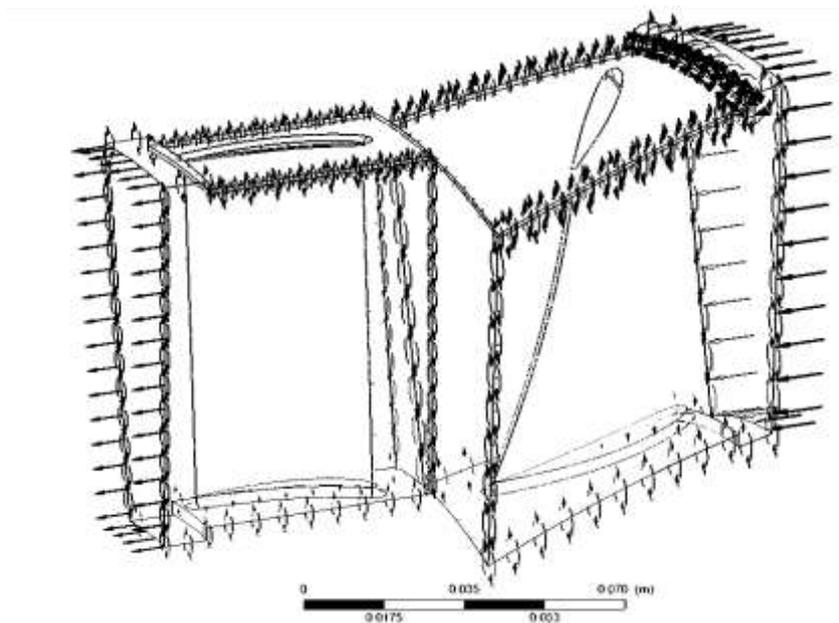


Рисунок 3 – Геометрическая модель с заданными параметрами граничными условиями

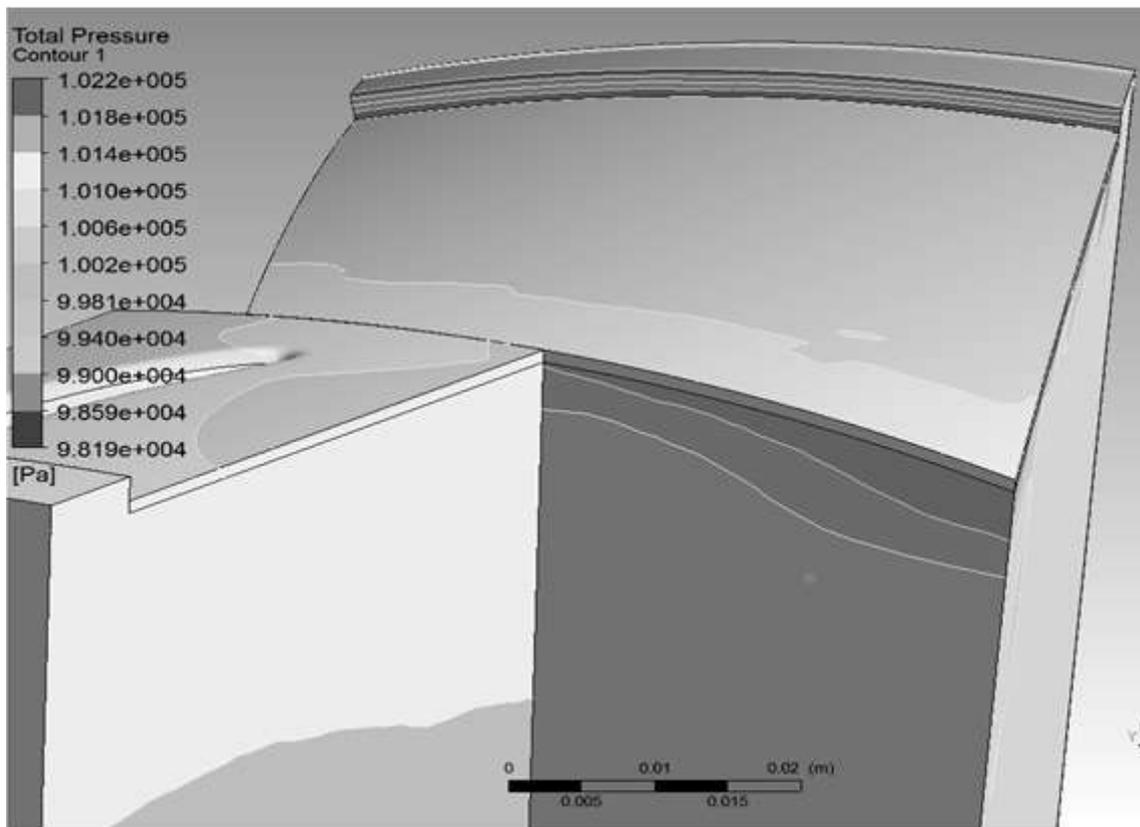
Принцип построения граничных условий в ANSYS CFX сводится к тому, что каждая поверхность расчетной области должна быть обозначена, то есть каждая поверхность должна нести какую-либо функцию [2]. На модели были заданы следующие граничные условия:

- условие входа (задано давление и температура);
- условие выхода (задается давление в зависимости от режима);
- условие согласования расхода между последовательно расположенными лопаточными венцами.

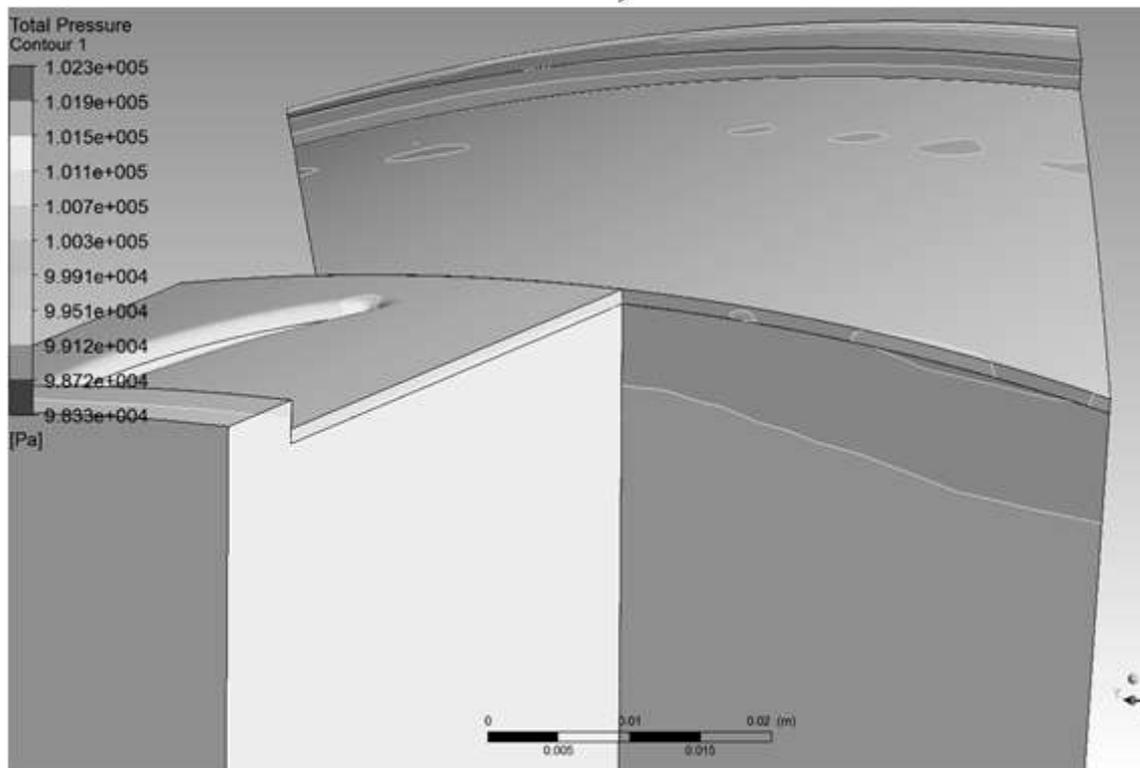
На следующем этапе были заданы критерии сходимости расчета и настройки решателя.

Основой модуля ANSYS CFX является передовой алгебраический многосеточный сопряженный решатель, использующий технологию CoupledAlgebraicMultigrid, являющуюся ключом к получению точных результатов в короткие сроки.

По окончании расчетов во всей расчетной области построены картины распределения полного давления без управления и с использованием целевого перепуска. Результаты представлены на рис. 4.



а)



б)

Рисунок 4 – Характеристика распределения давления: а) без щелевого перепуска; б) с щелевым перепуском на лопатке

Сравнив две полученные картины распределения, видно, что использование щелевого перепуска позволяет увеличить величину полного давления у кромки лопатки и в радиальном зазоре, а следовательно, и степень повышения давления ступени в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев, Ю. Н. Теория авиационных двигателей [текст] / Ю. Н. Нечаев. – М: ВВИА им. проф. Н. Е Жуковского. – 2007 г. – ч.1,ч.2.
2. Научно-технический отчет о НИР № 1609514 шифр «Инвариант» (промежуточный) (часть 4), 2014.

УДК 5433.42.8

### **ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗАТОРА «ФОКУС-2» ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ ИЗНАШИВАНИЯ В ПРОБАХ МАСЛА ГАЗОТУРБИННЫХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Дроков В. Г. <sup>1</sup>, Павлинский Г. В. <sup>1</sup>, Сеницкая А. В. <sup>2</sup>, Ходунаев А. Ю. <sup>1</sup>**

**Дроков В. Г. <sup>1</sup>**  
(научный руководитель)

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт прикладной физики  
Иркутский государственный университет*

<sup>2</sup>*Иркутский национальный технический университет  
(г. Иркутск)*

Исследована возможность применения рентгенофлуоресцентного анализатора с поликапиллярной оптикой «Фокус-2» для оценки элементного состава отдельных частиц изнашивания микронных размеров. Установлены предельные размеры частиц, при которых вероятность правильного определения марки сплава анализатором «Фокус-2» составляет не менее 95%. Разработаны алгоритм и программное обеспечение для автоматизированного определения марки сплава отдельной изношенной частицы, когда она представлена одним, либо несколькими сплавами.

*Ключевые слова:* газотурбинный авиационный двигатель, диагностика, узел трения, частицы изнашивания, элементный состав частиц, анализатор с поликапиллярной оптикой «Фокус-2», программное обеспечение.

Для диагностирования узлов трения авиационных ГТД, омываемых смазочным маслом, нашел применение рентгенофлуоресцентный метод анализа. По величине измеренного содержания металлической примеси судят о техническом состоянии узлов трения [1–2].

Более чем тридцатилетний опыт применения рентгенофлуоресцентных анализаторов показал, что вероятность выявления дефектов в узлах трения по результатам измерения содержания металлических частиц изнашивания в пробах авиационных масел не превышает 5–7% [3]. В этой связи в последнее время рентгенофлуоресцентные анализаторы, типа СПЕКТРОСКАН-JV, ПРИЗМА привлекают внимание диагностов с целью определения марки сплава отдельных частиц изнашивания (стружки) для обнаружения источника разрушения [4].

В работе [5] показано, что аппаратура с широким рентгеновским пучком (ПРИЗМА, X-50, РЛП) может использоваться для определения марки сплава в случаях, когда размер частиц превышает 1000 мкм. При уменьшении размеров частиц часть легирующих элементов (Cr, V, Ni и т. д.), имеющих содержание менее 0,5% не определяется, что приводит к неверному определению марки сплава анализируемой частицы.

С другой стороны, точное определение сплава при уменьшении размеров частиц позволяет прогнозировать развитие дефекта, уверенно обнаруживать дефектный узел на ранних стадиях развития. Для решения этой задачи представляется перспективным использование рентгенофлуоресцентных анализаторов с малым диаметром фокусного пятна.

При автоматизации процесса определения сплава частицы встает еще один вопрос. Дело в том, что в зависимости от типа изнашивания исследуемая частица может представлять сталь с включением бронзы, алюминия, меди и т. д. В таких случаях также должен быть решен вопрос о правильном определении марки сплава.

В настоящей работе предпринята попытка оценки возможности применения анализатора с поликапиллярной оптикой «Фокус-2» для определения сплава отдельных металлических частиц в диапазоне размеров 40 мкм–500 мкм.

Аппаратура с поликапиллярной оптикой нашла применение в криминалистике, фармацевтике, научных исследованиях. Для измерения элементного состава отдельных металлических частиц изнашивания «Фокус-2» не использовался.

Цель работы:

а) установление предельных размеров частиц, при которых анализатор «Фокус-2» имеет возможность в 95% случаев выполнения анализа правильно определять марку сплава.

б) разработка алгоритма и программного обеспечения для автоматизированного определения марки сплава отдельной частицы в случаях, когда износная частица представлена одним, либо несколькими сплавами.

### **ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АНАЛИЗАТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ СТАЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АВИАЦИОННЫХ ГТД**

Предел обнаружения измерительной аппаратуры определяется зависимостью [6]:

$$C_{пред} = 3\sigma_{хол} / D, \quad (1)$$

где коэффициент 3 соответствует доверительной вероятности  $P = 0.997$  (при вероятности  $P = 0.95$  этот коэффициент равен 2); величина  $D = \Delta I / \Delta C$  – концентрационная чувствительность в области малых содержаний анализируемого элемента ( $\Delta I$  – приращение интенсивности аналитического сигнала при увеличении содержания на  $\Delta C$ );  $\sigma_{хол}$  – среднеквадратичная погрешность измерения величины фона.

Для экспериментального определения концентрационной чувствительности  $D$  и среднеквадратичной погрешности измерения величины фона  $\sigma_{хол}$  использованы стружки сплавов на основе железа пяти стандартных образцов предприятия (СОП), аттестованных АО «Авиадвигатель» сталей с различным элементным составом: 95X18Щ, ЭИ-347Щ, ЭИ415, ШХ15-Щ, 12X2Н4ВА, 60С2А. Минимальный размер используемых частиц составил несколько десятков микрометров, максимальный – 500 мкм. Стружка (частицы) изготавливалась из СОП сплавов, путем резания входящих в состав омываемых смазочным маслом деталей авиационного двигателя ПС-90А.

Полученные частицы в небольших количествах рассыпались на предметном столике микроанализатора «Фокус-2» таким образом, чтобы отсутствовало комкование частиц. Далее, с помощью встроенных в анализатор микроскопа и лазерного луча, совмещенного с рентгеновским пучком, выбиралась отдельная частица, оценивался ее среднегеометрический размер и методом фундаментальных параметров рассчитывался элементный состав. Размер фокусного пятна анализатора равен 100 мкм.

Исследованные частицы были расклассифицированы по четырем диапазонам: 25–50 мкм; 50–80 мкм; 80–110 мкм и 110–500 мкм.

Интенсивность рентгеновской флуоресценции каждой отдельной частицы определяется ее размером [7]. При этом даже самые мелкие из них (25 мкм) превышают критерий «толстого» слоя, который для железа характеризуется величиной порядка 20 мкм. Следовательно, интенсивность рентгеновской флуоресценции отдельной частицы пропорциональна ее площади, то есть примерно квадрату линейного размера [7, 8].

В соответствии с рекомендациями работы [6], величина  $\sigma_{хол}$  может быть найдена для проб, где содержание определяемых элементов настолько мало, что измеренные интенсивности можно считать фоновыми. Поэтому для определения  $\sigma_{хол}$  использовались интенсивности только тех элементов в стандартных образцах, содержания которых не превышали указанный критерий. Так, для хрома этому критерию соответствует только сталь **60С2А** ( $C_{Cr} = 0.3\%$ ).

Интенсивности рентгеновской флуоресценции каждой частицы измерялись для линий 7 элементов при экспозиции 200 с. Полученные средние значения интенсивностей фона приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Средние значения интенсивностей фона в сплавах на основе железа для семи элементов

Аналитическая линия	Размеры частиц, мкм			
	20–50 мкм	50–80 мкм	80–110 мкм	110–500 мкм
V <sub>кλ</sub>	80	104	207	768
Cr	28	44	40	200
Mn	41	71	139	649
Ni	20	37	42	38
Cu	320	65	80	49
Mo	73	105	265	1016
W	30	40	74	166

Расчет  $\sigma_{хол}$  выполнен по формуле

$$\sigma_{хол} = \sqrt{\frac{\sum_i (N_i - N_{cp})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где  $N_{cp}$  – среднее из числа  $n$  параллельных измерений величин  $N_i$ . Полученные значения  $\sigma_{хол}$ (имп) для 7 элементов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Величины  $\sigma_{хол}$  (имп) для различных размеров частиц

Элемент	Размеры частиц			
	20–50 мкм	50–80 мкм	80–110 мкм	110–500 мкм
V <sub>кл</sub>	134	84	138	270
Cr	46	66	50	138
Mn	72	72	148	346
Ni	36	102	102	62
Cu	64	88	90	66
Mo	90	102	200	440
W	38	18	76	120

Наблюдаемый большой разброс величин  $N_i$  для отдельных частиц объясняется слабо контролируемым их размером в пределах каждого диапазона и, следовательно, широкой вариацией их интенсивностей при 100 мкм фокусе использованного анализатора. Поэтому полученные результаты можно рассматривать только как оценочные.

Зависимость интенсивности  $N_i$  рентгеновской флуоресценции от содержания  $c_i$  элемента  $i$  в первом приближении определяется выражением [8]:

$$N_i = Const \frac{c_i}{\frac{\mu_m}{\sin \varphi} + \frac{\mu_{mi}}{\sin \psi}}, \quad (3)$$

где  $\mu_m$  и  $\mu_{mi}$  – массовые коэффициенты ослабления в образце первичного и флуоресцентного излучения, соответственно;  $\varphi$  и  $\psi$  – углы падения первичного и выхода флуоресцентного излучения. Зависимость (3) усложняется проявлением эффектов избирательного возбуждения, которые для разных типов сплавов могут оказаться весьма значительными.

Из уравнения (3) следует, что концентрационная чувствительность  $\Delta N_i / \Delta C_i$  (для малых содержаний  $c_i$ ) существенно зависит от ослабляющих свойств исследуемого материала.

Хотя для рассматриваемых сплавов высокое содержание железа ограничивает вариации их ослабляющих характеристик, тем не менее, влияние состава сплавов на исследуемую концентрационную чувствительность необходима.

Расчет концентрационной чувствительности упомянутых выше шести СОП выполнен с учетом эффекта избирательного возбуждения для неоднородного первичного излучения рентгеновской трубки с молибденовым анодом, работающей при напряжении 40 кВ [8]. Результаты расчетов для шести стандартов представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Концентрационная чувствительность для шести легирующих элементов стандартных образцов стали

Стандарт	Концентрационная чувствительность для элементов (условные единицы)*					
	V (Z=23)	Cr (Z=24)	Mn (Z=25)	Ni (Z=28)	Mo (Z=42)	W (Z=74)
60C2A	-	6.7	4.7	-	-	-
12X2H4BA	-	6.5	4.7	1.8	-	-
95X18Ш	-	5.1	4.3	-	-	-
ЭИ-415	5.0	6.2	4.5	1.7	3.0	0.7
ЭИ-347Ш	3.8	4.6	3.7	1.9	2.7	0.8
ШХ15-Ш	-	6.6	4.7	1.8	3.0	-

Полученные результаты использованы для нахождения предельных содержаний.

#### РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОДЕРЖАНИЙ

При известной погрешности холостого опыта  $\sigma_{хол}$  и концентрационной чувствительности ( $\Delta I / \Delta C$ ) предельные содержания элементов вычислены по формуле (1). Результаты расчетов для различных величин анализируемых частиц представлены в табл. 4.

\* Существующая программа для расчета интенсивности дает результаты в условных единицах.

Таблица 4 – Предельные концентрации элементов  $C_{\text{пред}}$  (%) для различных размеров частиц при экспозиции 200 с

Элемент	Размеры частиц			
	20–50 мкм	50–80 мкм	80–110 мкм	110–500 мкм
V	6.7	2.5	1.8	1.1
Cr	1.7	1.2	0.4	0.2
Cr для ЭИ-347Ш	1.7	2.8	1.4	0.8
Mn	2.3	1.4	1.7	1.0
Ni	2.7	4.1	1.8	0.2
Mo	1.2	1.0	1.0	0.5
W	1.5	0.4	1.0	0.5

Из сопоставления данных табл. 7 с содержанием легирующих элементов в 6 образцах сталей можно установить элементы, определяемые в частицах различных размеров. Указанные данные приведены в табл. 8.

Таблица 5 – Элементы, определяемые в частицах разных размеров для исследованных сталей при экспозиции 200 с и при использовании  $2\sigma$  – критерия

Марка стали	Размеры частиц			
	20–50 мкм	50–80 мкм	80–110 мкм	110–500 мкм
60C2A	-	-	Cr ; Mn	Cr ; Mn
95X18	Cr	Cr	Cr	Cr ; Mn
12X2H4BA	Cr ; Ni ; W	Cr ; Ni ; W	Cr ; Ni ; W	Cr ; Ni ; W
ШХ-15Ш	Cr	Cr	Cr	Cr
ЭИ-347Ш	Cr ; W	Cr ; W	Cr ; W ; V	Cr; Ni; W; V; Mo
ЭИ-415	Cr	Cr	Cr	Cr; Ni; W; V; Mo

Табл. 5 показывает, что, начиная с размеров частиц 110 мкм, анализатор «Фокус-2» позволяет определять полный набор элементов в частице изнашивания, независимо от типа сплава.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ СПЛАВА ИССЛЕДУЕМОЙ ЧАСТИЦЫ

Для удобства пользования анализатором и оперативности проведения измерений разработан алгоритм и программное обеспечение по автоматизированному определению типа сплава изношенных частиц [9].

Для этого интенсивности элементов, полученные на «Фокус-2», нормировались на максимальную интенсивность элементов данной частицы, т. е. для сплавов на основе железа интенсивность железа, для медных сплавов на интенсивность меди. Полученные для каждой частицы значения заносились в базу данных и рассчитывались средние значения этих величин по частицам каждой марки сплава.

Для частицы, марку сплава которой нужно было определить, аналогично рассчитывались относительные интенсивности. Далее, поэлементно вычислялись отклонения значений по сравнению с таковыми для каждого сплава в базе данных. Частице присваивался тип сплава, сумма отклонений от которого наименьшая. При несоответствии элементного состава сплава в базе данных и искомой частицы, интенсивность отсутствующих элементов принималась равной нулю.

При проверке алгоритма на выборке из 11 эталонных сплавов, по 10 частиц каждый, марка сплава корректно определялась в 95% случаев.

Список исследованных сплавов следующий: ВТ8М, 95Х18, ШХ15-Ш, БрАЖМц, 60С2А, ЭИ678, 12Х2Н4А, 65С2А, ЭИ961, ЭИ962, ЭИ-347Ш.

При отработке методики определения типа сплава исследуемые частицы были рассортированы по диапазонам размеров. Соответственно, в поисковом запросе, помимо интенсивностей элементов, учитывался и размер частиц. Оказалось, что при размерах частиц от 40 мкм интенсивности элементов возрастали и соотношение интенсивностей между элементами могло меняться. Однако при размерах частиц более 110 мкм погрешность, вызванная увеличением размеров частиц, недостаточна для того, чтобы повлиять на точность результатов поиска для большинства сплавов.

В дальнейшем, анализатор «Фокус-2» использовался для определения марки сплава реальных частиц изнашивания, уловленных контрольными элементами двигателя ПС-90А. В случаях, когда износные частицы представлены одним сплавом, вероятность правильного определения марки сплава составляла 95%. Однако опыт работы с реальными частицами изнашивания показал, что в процессе износа частицы, отделившиеся в результате трения, могли содержать в себе элементы взаимодействующих узлов. Для частиц, содержащих несколько «основных» элементов (Fe, Cu и т. д.) в достаточно больших количествах применялось правило, по которому определение марки сплава проводилось дважды. Один из «основных» элементов исключался из поиска. Далее, поиск проводился по оставшимся

элементам после проведения повторной нормировки на оставшийся «основной» элемент.

Для 23 из 25 имеющихся «реальных» частиц, состоящих из двойных сплавов ШХ-15Ш – БрАЖМц и ЭИ-347Ш – БрАЖМц, оба сплава были определены корректно.

## **Выводы**

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать несколько выводов.

При больших размерах частиц (от 100 мкм и выше) становится возможным определение большего числа легирующих элементов (см. табл. 5). Начиная с размеров частиц более 110 мкм, практически во всех сплавах определяется полный набор легирующих элементов, входящих в измеряемый сплав.

С помощью анализатора «Фокус-2» более чем на порядок по сравнению с рентгенофлуоресцентными анализаторами с широким пучком, снижен предельный размер определяемых частиц, что способствует решению задачи по выявлению дефектов на ранней стадии их развития в авиационных ГТД.

Предельные содержания элементов, обнаруживаемые в частицах разного размера, должны существенно уменьшиться с уменьшением фокусного пятна анализатора, поскольку при этом уменьшается «паразитный» фон, обусловленный превышением размеров фокусного пятна над размером флуоресцирующих частиц.

Разработан алгоритм и программное обеспечение по автоматическому определению типа сплава для частиц размером более 100 мкм. Для частиц такого размера, представленных двумя сплавами, типа сталь – бронза, точность определения типа сплава составила не менее 92%.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Методика диагностирования узлов трения, омываемых маслом, двигателей Д-30КП и Д-30КУ методом рентгеноспектрального анализа. – М.: 1990. – 5 с.
2. Основы технологии создания газотурбинных двигателей для магистральных самолетов / под редакцией А. Г. Братухина, Ю. Е. Решетникова, А. А. Иноземцева. – М.: Авиатехинформ, 1999. – С. 66–67 .

3. Дроков В. Г. Повышение достоверности результатов диагностирования газотурбинных двигателей сцинтилляционным методом с целью снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций при эксплуатации воздушных судов: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.14, 05.26.02 / В. Г. Дроков: – Иркутск: 2009. – 42 с.
4. Дасковский А. И. Обоснование диагностического критерия и разработка методики повышения достоверности его оценки при анализе концентрации продуктов изнашивания в работающем масле: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.14 / А. И. Дасковский: – М: 2002. – 24 с.
5. Иноземцев А. А. Состояние и перспективы развития спектральной трибодиагностики авиационных газотурбинных двигателей // Часть 2. Элементный состав частиц изнашивания, накапливаемых в системе смазки авиационных газотурбинных двигателей / А. А. Иноземцев [и др.] / «Контроль. Диагностика» 2011. – № 3(153). – С 52–61.
6. Смагунова, А. Н. Методы математической статистики в аналитической химии. / А. Н. Смагунова, О. М. Карпукова. – Иркутск: Издательство Иркут. Гос. Ун-та., 2008. – 339 с.
7. Павлинский, Г. В. Зависимость интенсивности рентгеновской флуоресценции отдельной частицы от ее формы, размеров и ориентации в пространстве. / Г. В. Павлинский и др. – «Контроль. Диагностика» 2001. – №6. – С. 8–15.
8. Pavlinsky G. V. Fundamentals of X-Ray Physics. / Г. В. Павлинский. – Cambridge International Science Publishing Ltd.UK. 2008, 244 p.
9. Ходунаев А. Ю. Анализ частиц. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015616927. Рег. 25.06.2015. Правообладатель: ФГБОУ ВО «ИГУ»

## РАЗРАБОТКА НОВОЙ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРИСАДКИ К АВИАЦИОННЫМ МАСЛАМ

Татаринцев А. А., Луценко А. С.

**Леденева И. В.**

(научный руководитель)

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

Разработан новый перспективный компонент для авиационных ГСМ на основе фосфобетаинов диметиламинопропиламидов жирных кислот растительных масел, сочетающий в себе свойства моюще-диспергирующих присадок и ингибиторов коррозии.

*Ключевые слова:* полифункциональные присадки, авиационные масла, ингибитор коррозии, моющее-диспергирующая присадка, фосфобетаины.

Защитные свойства масел характеризуют их возможность противодействовать электрохимической (в том числе атмосферной) коррозии в присутствии электролита.

При хранении авиационной техники коррозия происходит под воздействием влаги, кислорода и некоторых активных газов, содержащихся в воздухе. Для улучшения защитных свойств масла в их состав вводят композиции из присадок и ингибиторов коррозии, которые снижают коэффициент трения. Применяются ингибиторы коррозии трех поколений. К первому поколению относятся «Акор-1», КП; второго – НГ-107М, НГ-107Т, НГ-110М, НГ-110Т; третьего – «Моника», «Экономин-2» и др. Ингибиторы коррозии первого поколения имеют плохие защитные свойства и большую зольность. Присадки второго поколения обеспечивают более длительную защиту деталей от коррозии (3–15 лет), но имеют недостаточную эффективность в условиях усталостного и водородного износа, коррозионного растрескивания, питтинг-коррозии. Присадки третьего поколения обеспечивают маслам повышенные антикоррозионные и антифрикционные свойства.

Ингибиторы коррозии, которые вводят в масла, защищают детали двигателя от электрохимической коррозии (особенно при хранении).

В коррозионных процессах особая роль принадлежит воде и водяному пару. Износ деталей двигателей авиационной техники, которая долго хранится во влажной атмосфере, по сравнению с износом деталей двигателей, находящихся в непрерывной эксплуатации, значительно выше. Чтобы снизить коэффициент трения, износа и задираание металлических поверхностей, в состав базовых масел вводят антифрикционные, противозадирные, противоизносные, моющее-диспергирующие присадки. Действие этих присадок связано с физической адсорбцией и химическим взаимодействием с металлами (хемосорбцией) и образованием модифицированных слоев или пленок на поверхности трения (последнее характерно для высоких термомеханических нагрузок в моменты значительного генерирования теплоты непосредственно в зоне трения). Качество этих пленок зависит от химического состава присадок.

Известен ингибитор коррозии металлов, представляющий собой продукт конденсации борной кислоты с диэтаноломином и растительным маслом при мольном соотношении реагентов 1:3:(1–2) соответственно. Используют ингибитор в количестве 20–40 масс.% в нефрасе, арктическом дизельном топливе, авиационном керосине.

Рабочий раствор ингибитора защищает металлы от коррозии в водно-нефтяных сероводородсодержащих средах, но его активная основа не растворима в минеральных маслах, поэтому не эффективна при защите металлов от атмосферной коррозии.

Наиболее близким аналогом предложенного технического решения является ингибитор коррозии металлов, представляющий собой продукт конденсации борной кислоты с диэтаноломином и растительным маслом при мольном соотношении реагентов 1:3:(0,5–0,7) соответственно. Данный ингибитор используют в количестве 10–16 масс. % в минеральном масле для консервации металлоизделий [1].

Недостатком консервационного масла, содержащего указанный ингибитор, является то, что оно не защищает от атмосферной коррозии металлоизделия из легированной стали, магния, алюминия и их сплавов.

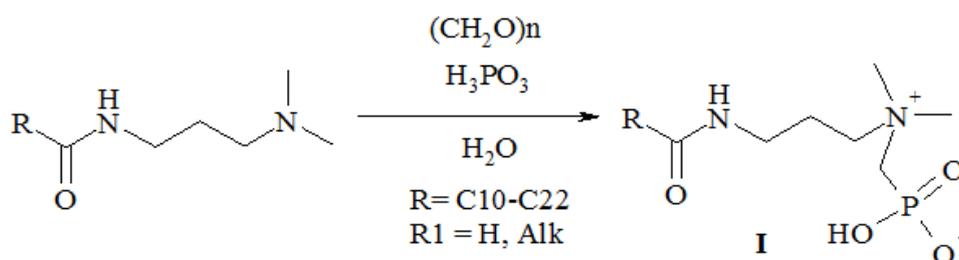
Моюще-диспергирующие присадки – важная группа присадок, обеспечивающих хорошие эксплуатационные свойства масел и увеличивающие срок их службы. Моюще-диспергирующие свойства масла обеспечивают чистоту деталей двигателя, удерживая нерастворимые продукты окисления и загрязнения во взвешенном состоянии без выпадения в осадок, перехода в лакообразные отложения и нагар на горячих деталях.

В качестве моющих присадок используют сульфонаты, фосфонаты, органические соединения кальция и магния. Механизм их действия заключается в адсорбции на поверхности частиц, не растворимых в масле. На каждой из частиц образуется оболочка из полярных молекул присадки. Возникающий двойной электрический слой придает частицам, на которых они адсорбировались, одноименный заряд, препятствующий коагуляции частиц, — они отталкивают друг друга. Недостаток металлсодержащих моющих присадок заключается в том, что они повышают зольность масла. Это может привести к образованию зольных отложений в камере сгорания, преждевременному воспламенению рабочей смеси, прогару выпускных клапанов, снижению детонационной стойкости топлива, абразивному изнашиванию.

Среди всего многообразия ПАВ наиболее активно в качестве пенообразователей применяются четвертичные соли аминов. Это бетаиноподобные структуры, синтез которых осуществляют на основе различных амидов, содержащих вторичную или третичную алифатическую аминогруппы. Введение в такие ПАВ сульфонатных и фосфонатных групп обеспечивает не только увеличение поверхностной активности, но и проявление антикоррозионных свойств.

Предполагается, что 2-гидроксиэтиламиноэтиленамиды и N-диметиламинопропиламины жирных кислот растительных масел можно использовать в дальнейших модификациях с целью улучшения их пенообразующих, смягчающих и антикоррозионных свойств. Так, N-диметиламинопропиламины жирных кислот подсолнечного, кокосового и пальмового масел вводились в трехкомпонентное взаимодействие с параформом и фосфористой кислотой по типу реакции Манниха. Небольшое количество воды прибавлялось в систему *in situ* для деполимеризации параформальдегида. Взаимодействие проводили с избытком 50%-ым параформа (схема 1).

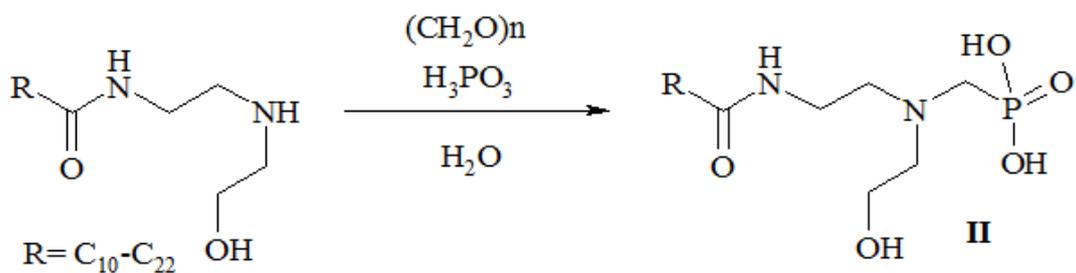
Схема 1



В результате были получены фосфобетаины N-диметиламинопропиламидов жирных кислот растительных масел. В ИК-спектрах полученных продуктов зафиксированы две интенсивные полосы поглощения с  $\nu_{\max} = 990-1050$  и  $1170-1250 \text{ см}^{-1}$ , характерные для фрагмента  $\text{R-P(O)(OH)O}^-$ . Кроме того, обнаружены полосы поглощения амидного NH-фрагмента при  $\nu_{\max} = 3200-3400 \text{ см}^{-1}$ . Также наблюдаются высокоструктурированные полосы поглощения средней интенсивности с  $\nu_{\max} = 2700-2900 \text{ см}^{-1}$ , принадлежащие группам с четвертичным атомом азота. В то же время, полосы группы  $\text{NMe}_2$  с третичным атомом азота ( $\nu_{\max} = 3050-3200 \text{ см}^{-1}$ ), наблюдаемые в ИК-спектрах исходных амидов, практически исчезают.

Полученные продукты (выходы 78–89%) представляют собой светло-желтые желеобразные смеси. Установлено, что фосфобетаины N-диметиламинопропиламидов жирных кислот растительных масел обладают повышенными пенообразующими качествами по сравнению с «классическими» бетаинами. Аналогично фосфобетинам N-диметиламинопропиламидов жирных кислот растительных масел могут быть получены N-фосфометильные производные 2-гидроксиэтиламиноэтиленамидов **II** (схема 2).

Схема 2



Анализ полученных смесей проводился с помощью инструментальных методов – ГХ-МС и ИК спектрометрии. Так, в ИК-спектрах полученных продуктов наблюдаются интенсивные полосы поглощения с  $\nu_{\max} = 1050-1250 \text{ см}^{-1}$ , характерные для фрагмента  $\text{R-P(O)(OH)}_2$ . В то же время зафиксированы полосы поглощения NH-групп при  $\nu_{\max} = 3200-3400 \text{ см}^{-1}$ .

Таблица – Некоторые физико-химические характеристики и аналитические показатели продуктов I и II

Вещество	Средняя Молекулярная масса, Мг/моль	Пенообразующая способность	рН	Кислотное число, мг КОН / г	Число омыления, мг КОН / г	Содержание воды, %
Фосфобетаины ДМАПА ЖК пальмового масла	339	190	2,119 (5%)	320,7	344,9	0
Фосфобетаины ДМАПА ЖК кокосового масла	384	220	2,108 (5%)	427,5	497	0
Фосфобетаины ДМАПА ЖК подсолнечного масла	473	200	3,345 (5%)	180,4	217,5	0
N-фосфометильные производные АЭЭА пальмового масла	422	180	2,961 (5%)	257,5	398,2	следы
N-фосфометильные производные АЭЭА кокосового масла	393	225	3,798 (5%)	149,5	329,5	1
N-фосфометильные производные АЭЭА подсолнечного масла	458	190	2,897 (5%)	256,9	401,2	0,5
Фосфобетаины ДМАПА ЖК подсолнечного масла	473	193	3,544 (5%)	107,1	119,2	следы
Фосфобетаины ДМАПА ЖК кокосового масла	384	206	2,799 (5%)	124,3	156,0	0
N-фосфометильные производные АЭЭА ЖК подсолнечного масла	422	142	4,729 (5%)	144,2	215,3	1
N-фосфометильные производные АЭЭА кокосового масла	393	189	3,997 (5%)	221,2	251,4	следы
Фосфобетаины ДМАПА ЖК пальмового масла	339	193	3,890 (5%)	201,6	240,2	0
N-фосфометильные производные АЭЭА ЖК пальмового масла	422	99	3,646 (5%)	169,7	278,5	следы

Полученные соединения (выходы 82–93%) также представляют собой светло-желтые желеобразные смеси и обладают отличными пенообразующими

качествами. Известно, что производные фосфоновых кислот являются активными ингибиторами коррозии черных и цветных металлов [2, 3].

Результаты анализа на содержание влаги в образцах (таблица) показали, что в соединениях типа **I** (фосфобетаины) вода практически отсутствует, в том время как в соединениях типа **II** она обнаружена в небольших количествах. В связи с этим, целесообразно использовать фосфобетаины жирных кислот растительных масел для дальнейших исследований. Оптимальные аналитические показатели (пенообразующая способность, рН, кислотное число и число омыления) зафиксированы у фосфобетаинов диметиламинопропиламидов жирных кислот пальмового масла.

Полученные производные хорошо растворимы в минеральных авиационных маслах (МС-8п, МС-20 и их смесях), умеренно растворимы в синтетических маслах (ИПМ-10, Б-3В, ВО-12). При отстаивании образцов, представляющих собой смеси указанных минеральных масел с 5, 10 и 20 масс. % фосфобетаинов жирных кислот в течение 24, 48, 72 часов смеси не расслаиваются, коллоидная стабильность масел не нарушается.

Таким образом, фосфобетаины диметиламинопропиламидов жирных кислот пальмового масла могут являться перспективными компонентами авиационных ГСМ на минеральной основе, сочетающие в себе свойства моюще-диспергирующих присадок и ингибиторов коррозии.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пат. 2303080 Российская Федерация, МПК С23F11/00. Комбинированный ингибитор коррозии металлов [текст] / Гайдар С. М.; заявитель и патентообладатель Москва. ЗАО «Автоконинвест». - № 2006120985/02; заявл. 15.06.2006; опубл. 20.07.2007. Бюл. № 20. – 5 с.
2. Пат. WO2015119528 Российская Федерация, МПК С23F11/1676. Ингибитор коррозии металлов и солеотложения [текст] / Романова Н. Е., Петров Д. С., Петров С. В., Голуб Т. П.; заявитель и правообладатель Романова Н. Е., Петров Д. С., Петров С. В., Голуб Т. П. – № РСТ/RU2014/000367; заявл. 06.02.2014; опубл. 22.05.2014. – 6 с.
3. Пат. 2593569 Российская Федерация, МПК С23F 11/167, С23С 22/42. Ингибирующий состав для защиты металлов от кислотной коррозии [текст] / Бикмурзин А. Ш., Гильманов Х. Х., Сахабутдинов А. Г., Беланогов И. А., Шепелин В. А., Шарифуллин Р. Р., Гитиятуллина Л. Я., Хасанова Д. А., Гильмуллина Асия Ринатовна, Коврижных Е. А., Гусамов Р. Р., Курчумов Д. М., Малямов А. С.; заявитель и

правообладатель Татарстан, г. Нижнекамск, ПАО «Нижнекамскнефтехим».  
– № 2015120937/02; заявл. 03.06.2015; опубл. 10.08.2016 Бюл. № 22. – 9 с.

УДК 621.452.322

## **СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Батов И. А.**

**Зиненков Ю. В.**

*(научный руководитель)*

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

В статье раскрываются вопросы создания силовых установок нового поколения преимущественно для применения на беспилотных летательных аппаратах различного назначения. Представлены первые результаты работы, проводимой на кафедре авиационных двигателей Военно-воздушной академии им. Н. Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, направленные на исследования гибридных силовых установок в составе беспилотных летательных аппаратов. Раскрыты некоторые схемы исследуемых проектов с описанием новых составляющих элементов силовой установки и затронут вопрос создания нового инструмента для определения их характеристик.

*Ключевые слова:* гибридная силовая установка, авиационный поршневой двигатель, твердополимерный топливный элемент, электрохимический генератор.

Вопросы создания авиационных силовых установок перспективных летательных аппаратов в последнее время встают наиболее остро. Причина в том, что традиционные схемы газотурбинных двигателей выходят на максимальные значения параметров рабочего процесса. При этом дальнейшее повышение эффективности летательных аппаратов за счет улучшения характеристик силовой установки становится невозможным. В связи с данным фактом, во всем мире научно-исследовательские организации авиационной отрасли ищут новые схемы двигателей, разрабатывая при этом ряд концепций будущего с прогнозом их реализации вплоть до 2050 года. Одной из них является концепция гибридной силовой установки. На основании вышесказанного вопрос формирования предварительного технического облика гибридной силовой установки для беспилотного летательного аппарата широкого спектра применения является актуальным.

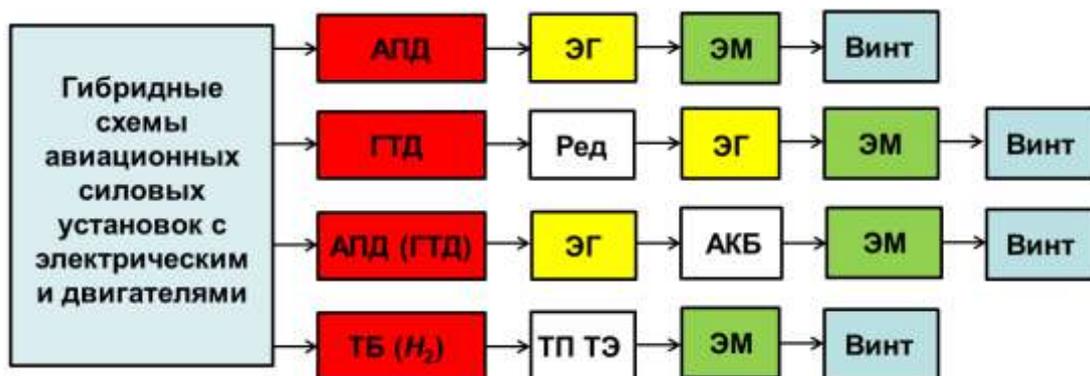


Рисунок 1 – Схемы гибридных силовых установок с электрическими двигателями

На кафедре авиационных двигателей Военно-воздушной академии им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина авторами работы ведутся исследования по оценке эффективности беспилотных летательных аппаратов различного назначения, в составе которых применяются силовые установки нетрадиционных схем. Одним из научных направлений является исследование гибридной силовой установки, под которой будем понимать совокупность двигателей внутреннего сгорания с рядом электрических агрегатов.

На рис. 1 представлены четыре рассматриваемые схемы гибридных силовых установок с электрическими двигателями. В первой схеме источником энергии является топливо, которое в результате сгорания в авиационном поршневом двигателе (АПД) преобразуется в механическую энергию на валу для привода во вращение электрогенератора (ЭГ) высокой производительности, далее энергия идет на электрический мотор (ЭМ), который приводит во вращение воздушный винт. К преимуществам такой схемы можно отнести более высокий КПД силовой установки.

Вторая схема гибридной силовой установки отличается наличием газотурбинного двигателя (ГТД) для привода во вращение через редуктор (Ред) электрогенератора. Здесь преимущество заключается в возможности передачи более высокого крутящего момента на электрогенератор, соответственно, получения более высокой мощности. Третья схема предполагает наличие устройства накопления электроэнергии, т. е. аккумуляторной батареи (АКБ). Преимущество данной схемы по сравнению с первыми двумя заключается в том, что при работе силовой установки на дроссельных режимах, когда располагаемая тяга превышает потребную, избыточная энергия может накапливаться, а затем, при необходимости ее использования, двигатель может работать в режиме глубокого дросселирования и, соответственно, экономить топливо.



Рисунок 2 – Этапы преобразования химической энергии топлива в электрическую

Четвертая схема предполагает использование в качестве преобразователя химической энергии топлива на двигатель внутреннего сгорания, а электрохимический генератор, в качестве которого могут устанавливаться топливные элементы различных типов, работающие на водороде. Данные силовые установки уже широко применяются на легких беспилотных летательных аппаратах. Причем есть образцы, в которых стоят твердополимерные топливные элементы (ТП ТЭ) отечественного производства.

На рис. 2 показаны этапы преобразования химической энергии топлива в электрическую. Видно, что при использовании электрохимического генератора этапов преобразования становится меньше, чем при использовании двигателя внутреннего сгорания, а следовательно, и потерь энергии на переходных процессах будет меньше, значит КПД такой силовой установки будет выше.

При переходе авиации на новые нетрадиционные схемы силовых установок встает много новых вопросов, связанных с расчетом физических процессов, протекающих в их элементах. В связи с этим, разработка математических моделей функционирования дополнительных элементов силовой установки является очень важным и перспективным направлением деятельности в науке. Для этих целей авторами статьи создается программный продукт, сочетающий в себе возможности проведения комплексных расчетно-теоретических исследований, направленных на формирование технического облика силовых установок известных и нетрадиционных схем, в том числе и гибридных. При этом необходимо разрабатывать методики повышения эффективности авиационных силовых установок по критериям самолетного уровня за счет оптимизации параметров двигателя. Где ключевым должна являться возможность оценки любого изменения в двигателе или силовой установке на эффективность выполнения непосредственно полетного задания.

При этом, так же потребуется и применение современных эффективных методов оптимизации. В качестве такого метода целесообразно использовать метод не прямой статистической оптимизации на основе самоорганизации.

Он является методом нулевого порядка, эффективно решающим задачи с недифференцируемыми целевыми функциями сложной топологии, имеющими разрывы. Он успешно доказал свою эффективность при решении подобных задач в авиационной отрасли [1].

Предполагаемым результатом работы должен стать обширный банк характеристик по различным схемам гибридных силовых установок, имеющий весомый практический интерес для организаций, занимающихся формированием обликов перспективных беспилотных летательных аппаратов и их силовых установок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров, И. Н. Проблемы Многодисциплинарной оптимизации силовых установок перспективных аэрокосмических систем [текст] / И. Н. Егоров, Г. В. Кретинин, И. А. Лещенко, С. В. Купцов // *Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики*. – 2000. – № 1. – С. 25–31.

УДК 629.7.03

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ТУРБОВАЛЬНЫХ ГТД НА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ

**Зиялtdинов Ш. Р., Мухаметзянов Н. В.**

**Лиманский А. С.**

*(научный руководитель)*

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

В работе рассматривается утилизационный комплекс, который состоит из: газожидкостного утилизационного теплообменного аппарата (УТА), устанавливаемого в выхлопной тракт испытуемого ГТД; водорезервуара (аккумулятор тепла) достаточно больших размеров; теплообменного аппарата, типа жидкость-жидкость, помещенного в резервуар (ТАР); коммуникации промежуточного теплоносителя, соединяющей УТА и ТАР; циркуляционных насосов; регулирующей и запорной аппаратуры и пр. Вместо воды используется специальное высокотермостойкое масло, допускающее рабочую температуру от  $-18^{\circ}\text{C}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ .

*Ключевые слова:* конвертированный ГТД, турбовальный ГТД, утилизационный комплекс, термостойкое масло.

В настоящее время особое внимание уделяется в технических системах энерго- и ресурсосберегающим технологиям. Процесс сдаточных испытаний конвертированных приводных ГТД авиационного типа сопровождается большими тепловыми потерями с уходящими газами. Причем, чем меньше КПД испытуемого двигателя, тем больше указанные потери. Например, при испытаниях ГТД с номинальной мощностью 18 МВт и КПД около 30%. Тепловая мощность уходящего газа значительно превышает номинальную и составляет более 41 МВт, а суммарное выбрасываемое тепло за цикл испытания составляет около 1 ТДж (Тераджоулей). На компрессорных станциях газотранспортных магистралей ГТД работают практически на стационарных режимах и полезное использование (утилизация) указанного тепла осуществляется при помощи установленных специальных котлов – утилизаторов для теплоснабжения собственных нужд и ближайших населенных пунктов. При сдаточных и доводочных испытаниях в процессе производства ГТД характерна цикличность режимов, согласно принятой программе, и прерывистость – значительное время суток не загружены. Указанное обстоятельство затрудняет использование тепла традиционными способами.

В работе рассматривается утилизационный комплекс, который состоит из:

- газожидкостного утилизационного теплообменного аппарата (УТА), устанавливаемого в выхлопной тракт испытуемого ГТД;
  - водорезервуара (аккумулятор тепла) достаточно больших размеров;
  - теплообменного аппарата, типа жидкость-жидкость, помещенного в резервуар (ТАР);
  - коммуникаций промежуточного теплоносителя, соединяющих УТА и ТАР, циркуляционных насосов, регулирующей и запорной аппаратуры и пр.
- В качестве УТА может быть использован выпускаемый промышленностью котел-утилизатор производства НПУ «Анод», работающий в составе ГТД НК-16-18СТ и НК-38СТ. Причем, вместо воды используется специальное высокотермостойкое масло, допускающее рабочую температуру от  $-18^{\circ}\text{C}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ . Например, кремнеограническое соединение – дифеноксидикрезоксисилан (Т-12).

Указанный теплоноситель служит для «транспортировки» тепла по специальным коммуникациям в специальный водорезервуар-аккумулятор, он теплоизолирован и может быть построен по типу бассейна. Водорезервуар, имея большую емкость, учитывает цикличность и прерывистость испытания, сглаживает подвод тепла и обеспечивает непрерывную подачу подогретой воды с нормативной температурой  $100...150^{\circ}\text{C}$  в промежутке между испытаниями.

В свою очередь, внутри водорезервуара находится ТАР – жидкий теплоноситель вода – при помощи которого тепло передается от протеплоносителя к воде в резервуаре. Расход термомасла, согласно теории теплообменных аппаратов, согласуется с расходной теплоемкостью (произведение теплоемкости и расхода газа) источника тепла испытуемого ГТД. Циркуляция воды в резервуаре осуществляется специальными винтами, обеспечивающими потребную теплопередачу. Произведены расчеты утилизационного комплекса при сдаточных и доводочных испытаниях приводных (конвертированных авиационного типа) НК-16-18СТ и НК-38СТ. Средняя продолжительность в сутки испытаний была около 3 часов. Определены интегральные характеристики за цикл испытаний (около 5 режимов):

- средняя мощность уходящего тепла 41 МВт;
- средняя температура уходящих газов 686К (413С).

Были приняты кпд: УТА- 0.8, – ТАР – 0.7. В работе был использован метод определения объема водорезервуара, аккумулирующего тепло путем определения суммарного за цикл испытания (с учетом его продолжительности) тепла, в расчетах составил 816 ГДж при диапазоне нагрева воды от 70°С до 150°С. Масса воды резервуара составила 1900 тонн, его размеры 22 м х 22 м х 4,9 м. При этом трехсуточный расход воды в диапазоне 100...150°С составляет 26,4 тонн/ч, мощность 2,5 МВт (2,15 Гкал/ч). Приведенная тепловая мощность утилизационного комплекса на испытательной станции полностью зависит от программы выпускаемых ГТД и в значительной мере может сократить потребление топлива внутри заводской котельни.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маркушин, А. Н. Испытательные стенды для исследования процессов и доводки низкоэмиссионных камер сгорания ГТД [текст] / А. Н. Маркушин, А. В. Бакланов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2013. – № 3 (41). – С.131–138.
2. Бажан, П. И. Справочник по теплообменным аппаратам / П. И. Бажан. – М.: Машиностроение, 1989.- – 366 с.: ил.

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

---

Председатель – к.соц.н. Вишнякова Алена Александровна  
Секретарь – к.пед.н., доцент Шутова Татьяна Анатольевна

УДК 65.656.71

**ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА**  
**В СИСТЕМЕ РАБОТЫ С АВИАПЕРСОНАЛОМ**

**Соловьева А. В.**  
*yashanita@mail.ru*

**Вишнякова А. А.**  
*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*  
*Московского государственного технического университета*  
*гражданской авиации*  
*(г. Иркутск)*

Статья посвящена вопросам, касающимся развитию компетентностного подхода в работе с авиационным персоналом, а именно, вопросам, связанным с профессиональной подготовкой работников аэропорта и членов летного состава. На примере авиакомпании «ИрАэро» представлена практика применения компетентностного подхода в работе с авиаперсоналом.

*Ключевые слова:* аэропорт, авиакомпания, безопасность полетов, управление персоналом, компетенция, компетентностный подход, профессиональные качества, тренинг, курсы повышения квалификации, авиационные специалисты.

Гражданская авиация – одна из транспортных структур, наиболее подверженная чрезвычайным происшествиям, которые пагубно влияют на работу данной отрасли в целом. Большое значение в безопасности полетов имеет наличие знаний и опыта авиаперсонала как в воздухе, так и на земле. Именно компетентность персонала, его опыт и знания во многом определяют успешность и безопасность деятельности современных авиапредприятий.

В диссертации Чулановой О. Л. «Формирование и развитие компетентностного подхода в работе с персоналом: теория, методология, практика» отмечено: «Все чаще работодателям нужна не квалификация, которая часто соотносится с умением осуществлять те или иные операции,

а компетентность, которая рассматривается как комплекс навыков, свойственных каждому работнику в сочетании с квалификацией, социальным поведением, способностью работать в коллективе, инициативностью», [4]. Здесь же автор актуализирует важность использования компетентностного подхода и обозначает его как основу, которая позволит разработать такую систему трудовых отношений, которая будет соединять в себе и требования бизнеса, и работу с персоналом.

Чуланова О. Л. дает следующее определение понятия «компетенция»: «Компетенция» – это социально-трудовая характеристика совокупности знаний, умений, навыков и профессионально-важных качеств и мотивационных характеристик работника, обладающих эмерджентностью, необходимых для успешного выполнения работы и соответствующих требованиям должности и стратегическим целям организации» [4].

Компетентностный подход в работе с персоналом для отечественной практики является достаточно новым. Традиционно использовалась категория «профессиональные качества» – характеристика психофизиологических особенностей работника, способствующих его профессиональной успешности. Кроме того, учитывались качества работника, которые являлись нежелательными или даже противопоказанными для конкретного вида профессиональной деятельности.

Особенность компетентностного подхода в управлении персоналом заключается в переориентации целевого назначения управления персоналом – переход от решения оперативных кадровых проблем к решению задач более высокого стратегического порядка.

По мнению Чулановой О. Л. цели управления персоналом в рамках компетентностного подхода должны быть сформулированы таким образом, чтобы показать, что данные процессы могут улучшить деятельность организации путем достижения более высоких результатов работы, изменения поведения сотрудников, роста продуктивности и эффективности организации.

Недостаточно просто повысить знания, усовершенствовать навыки, компетенции и поведение сотрудников. Конечным результатом должно быть повышение продуктивности труда и организационные изменения, которые повысят конкурентоспособность и эффективность работы организации в целом.

Следует отметить, что большое значение имеет не только наличие у сотрудников необходимых компетенций, но и уровень их развития. С этой целью возможно использование комплекса методов оценки уровня развития

компетенций, состоящий из оценки показателей работы, профессионального и психологического тестирования, аттестации.

Что касается качества подготовки авиационного персонала, то данная область всегда требовала к себе повышенного внимания как со стороны организаций, участвующих в авиационном бизнесе, так и со стороны государства, потому как, в первую очередь, речь идет о безопасности полетов.

В целом уровень безопасности полетов не меняется уже несколько десятилетий – но растут объемы перевозок. Авиационные происшествия, единственной причиной которых были технические неполадки, сегодня большая редкость. Зато на долю человеческого фактора приходится до 80% инцидентов. Очевидно, что вся авиатранспортная система сейчас не надежнее самого слабого звена – человека, со свойственной ему привычкой ошибаться [2].

В целях обеспечения безопасности полетов, в условиях динамично изменяющейся внешней среды, подходы к управлению предполагают стратегические изменения – от управления функциональными подсистемами и отдельными процессами к управлению на основе компетентностного подхода.

Затрагивая вопрос о профессиональной деятельности авиационных специалистов, то видно, что здесь практически до сих пор оценка работников осуществляется на базе квалификационного метода. При этом следует отметить, что до сих пор не сформированы единые упорядоченные каталоги требований к работникам. На практике данные требования формируются в зависимости от специфики организации, национальных особенностей, субъективного мнения исследователей и разработчиков [4].

Обучение авиационного персонала авиакомпаний и аэропортов должно носить системный характер и, следовательно, может быть лишь плановым, потому что регламентируется не только Федеральными авиационными правилами и приказами Минтранса РФ, но и постановлениями правительства РФ и правилами различных технических контролирующих органов.

Обучение авиационных специалистов является непрерывным обучением. Например, курс повышения квалификации членов летных экипажей проводится, как правило, не реже одного раза в три года по программам, соответствующим минимальным требованиям, представленным в табл. 1, либо по программе непрерывной подготовки, утвержденной в установленном порядке [1].

Таблица 1 – Программы курсов повышения квалификации членов летных экипажей, соответствующие минимальным требованиям

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование дисциплины</b>	<b>Аудиторные занятия (в часах)</b>
1	2	3
1	Общий и авиационный английский язык (программа поддержания уровня владения английским языком)	Не менее 120 для поддержания рабочего уровня, либо по программе непрерывной подготовки
2	Фразеология радиообмена на английском языке	30
3	Воздушное право	6
	1) воздушное законодательство	1
	2) документы ИКАО	1
	3) основы международного воздушного права	1
	4) таможенные правила и пограничный контроль	1
	5) международные воздушные перевозки	1
4	6) безопасность полетов, организация поиска и спасения	1
	Международные правила полетов	12
	1) правила полетов	1
	2) обслуживание воздушного движения	1
	3) предотвращение столкновений воздушных судов в воздухе и с наземными препятствиями	1
	4) организация связи на международных воздушных линиях	1
	5) особенности воздушной навигации на международных воздушных #	4
	6) справочные навигационные пособия для выполнения международных полетов	3
7) полеты с использованием сокращенных интервалов эшелонирования, точной зональной навигации	1	
5	Особенности метеорологического обеспечения международных полетов	8

Проведение занятий наряду с теоретической подготовкой практического обучения авиационно-технического персонала по всем областям гражданской авиации, в частности, на стадиях производства и технического обслуживания воздушного судна, непосредственно связанных с требованиями к летной годности воздушного судна, способствует защите границ безопасности воздушного судна и увеличению комплексных систематических знаний и правильных моторных и психологических навыков техперсонала. Практическая подготовка, являющаяся фундаментальным требованием для достижения должного уровня профессиональной компетентности в области

технического обслуживания, является обязательной и в области производства с учетом квалификации персонала.

Учитывая актуальность и значимость компетентностного подхода, осознавая необходимость его внедрения, принимая во внимание опыт зарубежных коллег, все большее количество российских авиакомпаний используют данный подход в работе по подготовке и управлению персоналом.

Так, с целью повышения квалификации членов летного состава в авиакомпании «ИрАэро» ежегодно проводятся многочисленные сертификационные курсы и конкурсы, демонстрирующие наличие навыков и умений». 6 апреля 2017 года в рамках Международного форума SkyService 2017 прошло сертифицированное обучение бортпроводников по программе ISPY. Куратором обучения стала основатель и управляющий директор Travel Retail Training Ltd [5].

Особое внимание при прохождении обучения уделялось тренингам. Данная форма практических занятий учит быть общительными, обращать внимание на эмоции пассажиров при коммуникационном процессе. Именно бортпроводники влияют на принятие решений пассажиром. Правильная речь и выбор подходящих фраз не только позволяют бортпроводникам осуществлять продажи, но также создавать у пассажира благоприятное впечатление о полете. Поэтому в задачу бортпроводника входит как можно раньше, предпочтительно в начале полета, установить контакт с пассажиром. Бортпроводники обладают огромным потенциалом и зачастую они даже не осознают его границы до конца.

На наш взгляд, использование компетентностного подхода в системе работы с авиаперсоналом призвано организовать наилучшим образом обмен информацией о потребностях и возможностях развития предприятия, обеспечить проведение оценки, обучения и перемещения работников, активизировать и поддержать заинтересованность и ответственность самого сотрудника за свое развитие в данной отрасли.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования к членам летным экипажам воздушных судов гражданской авиации Российской Федерации при подготовке и выполнению международных полетов» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/91683/> (дата обращения 13.11.2017). – Загл. с экрана.

2. Культура безопасности. Авиатранспортное обозрение [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ato.ru/content/kultura-bezopasnosti>, (дата обращения: 13.11.2017). – Загл. с экрана.
3. Спенсер, Л. Компетенции на работе [текст] / Л. Спенсер, С. Спенсер. – М.: НИРРО, 2003. – С. 13–15.
4. Формирование и развитие компетентностного подхода в работе с персоналом: теория, методология, практика: автореф. дис. ... д-ра. экон. наук : 08.00.05 / О. Л. Чуланова [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.vcug.ru/aspirantura-doktarantura/autoref\\_chulanova.pdf](http://www.vcug.ru/aspirantura-doktarantura/autoref_chulanova.pdf) (дата обращения: 13.11.2017). – Загл. с экрана.
5. Сайт авиакомпании «ИрАэро» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iraero.ru> (дата обращения: 13.11.2017). – Загл. с экрана.

УДК 625.7

## КОНЦЕПЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО СООБЩЕНИЯ В МЕГАПОЛИСЕ

**Тытюк Л. С.**

*Lyuba.96@mail.ru*

**Диль В. Ф.**

*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*

*Московского государственного технического университета*

*гражданской авиации*

*(г. Иркутск)*

Концепция развития транспортного сообщения в мегаполисе очень важна в наше время. Следя за быстрыми темпами развития промышленной индустрии, можно утверждать однозначно, что наше будущее – это электромобили, становящиеся компромиссом между сохранением мобильности и снижением вредного воздействия на окружающую среду. В данной статье представлена в общих чертах концепция будущего транспортного сообщения в мегаполисе.

*Ключевые слова:* мегаполис, электромобиль, транспорт, транспортное сообщение, передвижение, пассажир, дороги.

Протяженность автомобильных дорог Иркутского мегаполиса составляет более 21,8 тыс. км. Содержание их в исправном состоянии требует 1,526 млрд рублей [1]. Это прямые расходы граждан. Расходы, связанные с необходимостью содержания в исправном состоянии автотранспорта, зависят

от состояния автодорог. Неудовлетворительное их состояние приводит к сокращению срока службы автотранспорта и увеличению амортизационных отчислений. В ряде случаев неудовлетворительное состояние автодорог является прямой причиной аварий и катастроф, происходящих на дорогах.

Рассмотрим основные виды транспорта, эксплуатирующие автодороги в пределах города. Первая категория – это транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов. Вторая категория – это специальный автотранспорт, к которому можно отнести автомобили скорой помощи, милиции, пожарные и другие категории. Из общего числа автомобилей эти категории составляют 10–12%.

Третья категория – это личный транспорт граждан, составляющий большинство автомобилей. Грубый расчёт показывает, что сегодня почти каждая семья имеет личный автомобиль.

Рассмотрим эксплуатацию этого вида транспорта. Прежде всего, его используют только для поездки на работу. 1,5–2-тонный автомобиль с одним пассажиром (иногда с двумя) мчится по дороге только для того, чтобы перевезти пассажира из одной точки в другую! Большинство пассажиров, прибыв на предприятие, продолжает трудиться на рабочем месте. Автомобиль, при этом, стоит и ожидает обратного пути. При такой эксплуатации транспорта проявляются недостатки:

- низкий КПД использования автомобиля;
- амортизация автомобиля – это прямые расходы автовладельца;
- пассажир обязан оплачивать амортизацию дорог;
- в случае заторов на дорогах возможны опоздания на работу с возможными последствиями, нервными срывами;
- возникает необходимость хранения автомобиля вблизи рабочего места. Это требует наличия автостоянок, которые чаще всего платные. В случае нарушения правил стоянки, возможны расходы, связанные со штрафными санкциями.

Второе предназначение личного транспорта – это поездки в рабочее время по рабочим вопросам. Это не регулярные поездки и могут совершаться с различной интенсивностью в течение дня от одного раза до 5–6, реже больше.

Третье предназначение – это поездки за город и по городу по личным делам. Эти поездки могут совершаться ежедневно не в рабочее время, или в отпускное время.

Уже сегодня возможным компромиссом между сохранением мобильности и снижением вредного воздействия на окружающую среду могут стать

электромобили. Европейские страны в данное время планируют отказаться от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Следя за быстрыми темпами развития промышленной индустрии, я думаю о том, что наше будущее – это электромобили. Правительства разных стран формируют меры государственной поддержки, инженеры проводят исследования в области беспроводной зарядки и беспилотного управления, это будущее с каждым днем становится ближе.

Если электромобиль станет главным средством передвижения, объем CO<sub>2</sub> в атмосфере может значительно уменьшиться. Это первый экологический эффект замены обычных видов топлива электричеством. Вторым эффектом – это достижения развития неуглеродной (малоуглеродной) энергетики, в частности, возобновляемой энергетики, тогда и грязных выбросов от различного транспорта станет меньше, а выброс парниковых газов при производстве электроэнергии значительно уменьшится.

Еще одним значительным преимуществом станет снижение шумового воздействия. Мегалополисы станут не только экологически чище, но и тише – электромобили существенно бесшумны. Для безопасности пешеходов инженеры разработали специальную систему оповещения [2]. Такими звуковыми сигналами уже оснащены Nissan Leaf, Audi R8 e-tron, BMW i3 и i8.

Кроме экологического эффекта у электромобилей есть еще и экономический эффект. Отказ от топлива однозначно выгоден. Согласно вычислениям российских экономистов, проезжая на электромобиле 20 000 км в год, водитель тратит на его зарядку всего 41 рубль в сутки. В тоже время, владелец современного автомобиля, по подсчетам, тратит на топливо 191 рубль в сутки, что в сумме за год может составить около 2% от средней заработной платы [2].

Почему электромобили не востребованы у российских автомобилистов? В первую очередь, это высокая стоимость машин, что не по карману среднестатистической семье. Стоимость обусловлена дорогими комплектующими, в том числе, аккумулятором. Но, исследования показали, что электрическая Tesla Model S смогла обойти Mercedes S-класса по снижению стоимости содержания. Расходы на обслуживание Tesla оказались ниже, чем потребовал бы классический немецкий автомобиль на бензине. Приобретая электромобиль, автовладелец выигрывает в долгосрочной перспективе – он получает качественной сборки автомобиль со сравнительно низкой стоимостью содержания.

Изложение концепции в общих чертах. В мегаполисе необходимо построить специальные транспортные артерии, по которым будут двигаться электроавтомобили. Представляются эти электромобили двух категорий: 1–2-местные и 10–16-местные. Применение вторых будет осуществляться в часы пик. Остальные в течение дня, при меньшей загрузке.

Транспортные артерии предполагается строить в городе в виде закрытых трубопроводов (из пластмассы, лучше прозрачной). Движение электромобилей осуществляется по рельсам на электромагнитной подушке. Оптимальная схема транспортной системы разрабатывается в каждом мегаполисе индивидуально.

При разработке такой системы следует учесть, что пассажир должен добраться до своего места работы без дополнительных остановок. Предполагается следующая процедура действий пассажира: пассажир движется от дома до остановки пешком, на остановке садится в электромобиль и на пульте управления выбирает пункт назначения. Электромобиль доставляет пассажира по конкретному пункту маршрута без остановок. Прибыв в конкретный пункт, пассажир выходит и движется к своему рабочему месту пешком. В этом алгоритме движения два существенных момента:

- движение пешком в начале и в конце участка пути;
- движение между остановками в автоматическом режиме.

Движение пешком – очень полезная и необходимая процедура, которой большинство из автомобилистов пренебрегает из-за личного небрежного отношения к собственной жизни и здоровью. Было бы неплохо внедрить каждому человеку обязательные хождения пешком, что приведёт только к оздоровлению организма. Поэтому в этой необходимой процедуре ничего вредного нет, а затраты времени на это необходимо учесть из опыта движения.

Второй момент алгоритма движения – это основной вопрос разработки новой концепции транспортного сообщения. Здесь укажем лишь в постановочном виде возможный перечень задач, требующих решений:

1. Прежде всего, необходима тщательная разработка самого алгоритма траекторий движения транспорта. При этом он должен обеспечивать абсолютную безопасность движения электромобилей. Электромобили могут двигаться по прямым участкам и в районе развязок остановок. На прямых участках необходимо определить скорость движения, способ безопасного встречного движения [3]. Возникают вопросы: как обеспечить безопасную развязку движения? Как обеспечить движение в районе остановок? Сколько и каких требуется электроавтомобилей, способных решить задачу перевозки

пассажирам? Все эти вопросы требуют дополнительных изысканий для конкретных мегаполисов.

2. Необходима разработка программы автоматического управления электромобилем как объектом, без водителя.

3. И, конечно, требуется разработка конструкции электромобилей и производство их в достаточном количестве.

4. Вершиной всей концепции является построение абсолютно новых транспортных артерий в городе.

По существующим дорогам могут двигаться автомобили первой и второй категории (перевозчики грузов и спецавтотранспорт). Остальные автомобили (личные) будут находиться в местах стоянки (лучше это за городом). Движение пассажиров на работу будет происходить по новым трассам.

Ожидаемый положительный эффект:

- уменьшаются затраты на содержание и строительство обычных дорог;
- улучшается экология природы и города;
- за счёт движения пешком оздоравливается нация;
- появляются новые рабочие места для строительства новых артерий и производства электроавтомобилей.

Думаю, в процессе реализации данной концепции могут возникнуть вопросы, которые здесь не учтены. Однако человечеству неизбежно необходимо отказаться от езды на работу на личном автотранспорте и оставить его только для езды в личное время на отдых.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная региональная программа Иркутской области «Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры Иркутской агломерации». Распоряжение Правительства Иркутской области № 808-рп от 26.12.2016.
2. Регирер, С. А. Математическая модель взаимодействия движущихся коллективов: общественного транспорта и пассажиров [текст] / С. А. Регирер, Н. Н. Смирнов, А. Е. Ченчик // Автоматика и телемеханика. – 2007. – Вып. 7. – С. 116–131.
3. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. Москва [текст] / В. Р. Вучик // Территория будущего. – 2011. – С. 413.

## ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**Арсентьева А. А.**

**Золотарёва А. И.**  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал  
Московского государственного технического университета  
гражданской авиации  
(г. Иркутск)*

В статье представлена информация о влиянии воздушного транспорта на экологию и окружающую среду. Выявлены основные причины нанесения вреда экологии. Рассмотрены меры по предотвращению негативных последствий от эксплуатации воздушного транспорта.

*Ключевые слова:* воздушный транспорт, биодизельное топливо, экология, безопасность.

Транспорт один из важнейших компонентов общественного и экономического развития, поглощающий значительное количество ресурсов и оказывающий серьезное влияние на окружающую среду. Услуги транспорта играют значительную роль в экономике и повседневной жизни. Использование всех видов транспорта на континентах возрастает и по объему перевозимых грузов, и по количеству тонно-километров, и по числу перевозимых пассажиров. Существенна роль транспорта в загрязнении водных объектов. Транспорт является одним из основных источников шума в городах и вносит большое значение в тепловое загрязнение окружающей среды.

В настоящее время неуклонный рост объемов перевозок воздушным транспортом приводит к загрязнению окружающей среды продуктами сгорания авиационных выбросов. Кроме того, шумовое воздействие и электромагнитное загрязнение среды так же оказывают негативное влияние.

Основными источниками неблагоприятного воздействия на окружающую среду на авиапредприятиях являются воздушные суда, эксплуатация и испытания которых сопровождается, прежде всего, высоким уровнем шума и загрязнением атмосферного воздуха. Шумовое загрязнение-шум антропогенного происхождения, которое нарушает деятельность живых организмов и человека. Шум создают авиационные двигатели, вспомогательные силовые установки самолетов, сделанные на базе

отработавших летный ресурс авиадвигателей, оборудование стационарных объектов, на которых производится техническое обслуживание и ремонт летательных аппаратов. Уровни шума достигают на перронах аэропортов 100 дБ, в помещениях диспетчерских служб от внешних источников 90–95 дБ, внутри зданий аэровокзалов 75 дБ [2]. Помимо шумового воздействия, авиация приводит к электромагнитному загрязнению среды. Электромагнитное загрязнение – это совокупность электромагнитных полей, разнообразных частот, негативно влияющих на человека. Электромагнитное загрязнение зависит в основном от мощности и частоты излучаемого сигнала.

Его вызывает радиолокационная и радионавигационная техника аэропортов и летательных аппаратов, необходимая для наблюдения за полетами самолетов и метеообстановкой. Радиолокационные средства излучают в окружающую среду потоки электромагнитной энергии. Они могут создавать электромагнитные поля большой напряженности, представляющие реальную угрозу для людей.

В настоящее время общепризнано, что вред окружающей среде, наносимый авиацией, как и всеми иными видами транспорта, заключается не просто в выбросах отработанных газов авиадвигателей, но и в создаваемом шуме. Любое авиатранспортное предприятие вовлекает в сферу производства разнообразное сырье и природные ресурсы, а обратно в окружающую среду направляет одни отходы. С одной стороны, в окрестностях авиапредприятия формируется автономная геотехническая система, оказывающая интенсивное антропогенное воздействие на окружающую среду. С другой стороны, производство ВС и иной необходимой техники, добыча и переработка ископаемого топлива, объекты инфраструктуры, в частности, для радиотехнического обеспечения полетов и электросвязи, для обслуживания пассажиров, для утилизации разнообразных отходов, включая списанную технику, и для многого другого – все это в наши дни порождает значительные локальные и региональные экологические проблемы, существенно воздействующие на жизнь и здоровье людей, на состояние экосистем [3].

Значительное местное загрязнение окружающей среды в процессе основной хозяйственной деятельности воздушного транспорта, имеет место в результате разнообразных нештатных ситуаций, аварий, катастроф и им подобных чрезвычайных ситуаций. Главной особенностью этого негативного воздействия на биосферу является его аварийный характер, то есть полная неопределённость, как места, так и времени соответствующего события, а также объемов и мощности воздействия. При чрезвычайных и аварийных

ситуациях самолёты вынуждены сливать в воздухе топливо для уменьшения посадочной массы. Количество топлива, сливаемого самолётом за 1 раз, колеблется от 2 тыс. до 50 тыс. литров. Испарившаяся часть достигает поверхности земли и водоёмов и может вызвать сильные местные загрязнения.

За последние 100 лет загрязнение окружающей среды усилилось разными выбросами. Ввиду своей технологической специфики вредные выбросы, производимые воздушными судами, намного быстрее оседают в атмосферном пространстве и распространяются в нем, поэтому защита окружающей среды от негативного воздействия деятельности воздушного транспорта актуальна во всём мире. Для снижения вредных выбросов от работы двигателей авиакомпания «Аэрофлот» принимает следующие методы:

- сокращение времени работы двигателей на земле;
- уменьшение числа работающих двигателей при рулении (выброс отходов снижается в 5 раз);
- использование присадок к топливу.

Во исполнение Указа президента РФ от 04.06.2008 №889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики», «Аэрофлот» разработал «Программу повышения экологической эффективности до 2020 года». Разработал и согласовал проект предельно-допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников. В целях следования стратегии охраны окружающей среды и сохранения водных ресурсов ОАО «Аэрофлот»:

- производит регулярный замер объёма сточных вод, поступающих на очистные сооружения, и сбрасываемых в специальный водный объект, предоставленный в пользование авиакомпании;
- постоянно контролирует качественные и количественные показатели сточных вод;
- контролирует эффективность работы очистных сооружений.

Для снижения удельного создаются новые газотурбинные двигатели с новыми конструкциями камеры сгорания, системы впрыска топливно-воздушной смеси, обеспечивающие лучшее распыление и перемешивание смеси, подаваемой в камеру, и более полное ее сгорание. Наряду с указанными мерами, направленными на решение задач, ближайшей перспективы, развернуты фундаментальные и прикладные исследования проблем авиации будущего. В этом плане идут поиски новых, более экономичных типов двигателей и новых «чистых» энергоносителей.

Биодизельным топливом принято называть высококалорийный продукт переработки биологического сырья. Это топливо может быть использовано в авиационных двигателях. Даже небольшое количество растительного масла в керосинном топливе существенно уменьшает объёмы вредных выбросов и повышает срок жизни двигателя [1].

Для защиты окружающей среды Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) введены ограничения на шум самолетов и эмиссию (выбросы) вредных веществ от авиационных двигателей. Международные стандарты по экологии гражданских самолетов существуют в виде тома I «Авиационный шум» и тома II «Эмиссия авиационных двигателей» Приложения 16 к Конвенции о международной гражданской авиации.

В наше время воздействие транспорта на окружающую среду – самая насущная и актуальная проблема современного общества. Последствия этого воздействия сказываются не только на нашем поколении, но и могут сказаться и на будущем поколении, если мы не примем серьёзные меры по снижению и даже устранению последствий воздействия.

На основе предоставленного выше материала можно сделать вывод о том, что перед главными эксплуатантами воздушного транспорта стоит важная задача – минимизировать влияние этого транспорта на окружающую среду. В связи, с чем многие авиапредприятия разрабатывают планы экологической политики. Экологическая политика направлена на повышение энергетической и экологической эффективности конечного продукта компании – перевозки пассажиров, багажа, почты и грузов. Магистральным направлением этой политики является курс на существенное повышение топливной эффективности парка воздушных судов авиакомпании, что позволяет снизить нагрузку на окружающую среду.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бобровников, Н. А.. Защита окружающей среды от пыли на транспорте. [текст] / Н. А. Бобровников. – М.: Транспорт, 1984 г. – 570 с.
2. Голубев, И. Р. Окружающая среда и транспорт [текст] / И. Р. Голубев, Ю. В. Новиков. – М.: Транспорт, 1987 г. – 450 с.
3. Защита окружающей среды при транспортных процессах [текст] / под ред. В. Г. Ененкова. – М.: Транспорт, 1984 г. – 640 с.

## **ОБ ОХРАНЕ ТРУДА ИНСПЕКТОРА ПО ДОСМОТРУ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИМ СВОИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОБЯЗАННОСТЕЙ**

**Чамовских А. В.**

**Мейер О. С.**

*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*

*Московского государственного технического университета*

*гражданской авиации*

*(г. Иркутск)*

Статья затрагивает актуальные в настоящее время вопросы охраны труда сотрудников досмотра при выполнении ими своих функциональных обязанностей. При работе с техногенными источниками авиационный персонал должен быть максимально защищен от ионизирующего излучения, которое представляет радиационную опасность для здоровья, в первую очередь, самих инспекторов по досмотру. В статье рассмотрены мероприятия, позволяющие обеспечить безопасные условия труда сотрудникам службы авиационной безопасности при проведении досмотра в аэропорту.

*Ключевые слова:* инспектор по досмотру, техника безопасности, досмотровое оборудование, радиационный контроль, безопасные условия труда.

Работа инспектора по досмотру является неотъемлемой частью в ходе осуществления технологического процесса обслуживания пассажиров до посадки на борт воздушного судна. Его часть работы полностью связана с обеспечением максимальной безопасности жизни и здоровья людей и их личных вещей. Для этого ему необходимо проявлять бдительность и внимательность в ходе проведения предполетного досмотра, чтобы избежать несанкционированного доступа лиц, имеющих предпосылки к совершению акта незаконного вмешательства. В этом и состоит необходимость инспектора по досмотру. Он должен обладать такими качествами, как: внимательность, стрессоустойчивость, уважение к человеческому достоинству, быстро абстрагироваться под любую ситуацию, а также обладать навыками по эксплуатации технических средств досмотра на максимальном уровне.

Поскольку работа инспектора связана с прямым контактом с пассажирами, он должен правильно и внятно излагать требования к прохождению досмотра. На практике очень часто встречаются довольно конфликтные пассажиры, с которыми очень сложно найти общий язык. Поэтому инспектор должен быть

уравновешенным и проявлять сочувствие и эмпатию к каждому человеку. Не должен выходить на открытый конфликт, а наоборот, избегать его. Конечно, работа происходит в постоянном напряжении, но это никак не должно отражаться на пассажирах. И это главное правило для инспектора в общении с пассажирами.

Согласно российскому законодательству, любое предприятие, использующее оборудование с ионизирующим излучением (например, рентгеновским), обязано соблюдать технику безопасности при работе с ним.

Работа с техническими средствами досмотра также является небезопасной, поскольку техногенные источники ионизирующего излучения представляют потенциальную радиационную опасность для здоровья авиационного персонала. В любом случае, инспектор, работающий с досмотровым оборудованием, имеет все шансы получить дозу рентгеновского излучения. Биологическое воздействие рентгеновского излучения на человеческий организм определяется уровнем дозы облучения, а также тем, какой именно орган тела подвергался облучению. Так, например, инспектор по досмотру, работая продолжительное время в зоне повышенной опасности, имеет в дальнейшем все шансы получить различные заболевания кожи, костного мозга, крови, а также половой системы.

Согласно требованиям Роспотребнадзора, персонал аэропорта должен пройти обязательный инструктаж по технике безопасности, а выделенный сотрудник должен отвечать за соблюдение техники безопасности.

Досмотровое оборудование оснащается необходимым экранированием для безопасной работы, и при соблюдении норм и правил, установленных Роспотребнадзором, безопасность сотрудников полностью обеспечивается. Характеристики технических средств досмотра должны гарантированно соответствовать всем стандартам и требованиям, выдвигаемым к такому оборудованию. Поэтому поставку, монтаж и наладку технических средств досмотра должны осуществлять специалисты высокой квалификации, сертифицированные изготовителем досмотрового оборудования [1]. Операторы должны пройти курс обучения изготовителя по использованию технических средств досмотра для обеспечения высокого уровня достоверности анализа при минимальном времени на его проведение.

Для того, чтобы работа с оборудованием в аэропорту протекала безопасно, работодатель создает такие условия, чтобы персонал был максимально защищен от таких воздействий как облучение, электротравма и т. д.

Под техникой безопасности подразумевается комплекс мероприятий технического и организационного характера, направленных на создание безопасных условий труда и предотвращение несчастных случаев на производстве.

В аэропорту принимаются меры к тому, чтобы труд работающих был безопасным, и для осуществления этих целей выделяются большие средства. Систематически проводятся мероприятия, обеспечивающие снижение травматизма и устранение возможности возникновения несчастных случаев. Мероприятия эти сводятся в основном к следующему:

- улучшение конструкции действующего оборудования с целью предохранения работающих от ранений;
- устройство новых и улучшение конструкции действующих защитных приспособлений к техническим средствам досмотра;
- улучшение условий работы: обеспечение достаточной освещенности, хорошей вентиляции и т.д.;
- устранение возможностей аварий при работе оборудования, его поломки;
- организованное ознакомление всех поступающих на работу с правилами поведения на территории предприятия и основными правилами техники безопасности, систематическое обучение и проверка знания работающими правил безопасной работы;
- обеспечение работающих инструкциями по технике безопасности, а рабочих участков плакатами, наглядно показывающими опасные места на производстве и меры, предотвращающие несчастные случаи.

Для того, чтобы избежать облучения радиоактивными лучами, персонал размещается за пультом монитора рентгенотелевизионного интроскопа (РТИ) на максимально удаленное расстояние, защищенное специальным стеклом, не пропускающим радиоактивные лучи. Если же сотрудник получает дозу облучения, то проводятся профилактические процедуры для реабилитации пострадавшего, также последующий медицинский осмотр, который должен будет подтвердить, что сотрудник здоров и может быть допущен к дальнейшей работе с данными объектами [2].

Радиационный контроль в организациях, проводящих работы с РТИ, должен обеспечивать получение необходимой информации о радиационной обстановке в помещениях, где расположены данные установки, смежных с ними помещениях, на рабочих местах персонала, в местах возможного нахождения людей, а также о дозах облучения персонала. Он осуществляется

в соответствии с утвержденным порядком проведения производственного контроля за радиационной безопасностью.

Не реже 1 раза в год проводится радиационный контроль наружной поверхности РТИ. Для этого в досмотровую камеру помещают наполненную водой полиэтиленовую канистру объемом 10–20 л, проводится процедура просвечивания, далее производятся замеры доз рентгеновского излучения в воде. Для измерения мощности дозы рентгеновского излучения при контроле радиационной обстановки на рабочих местах операторов следует использовать дозиметры рентгеновского излучения, имеющие действующее свидетельство о метрологической поверке и позволяющие измерять мощность дозы рентгеновского излучения от 0.100–0.500 мЗв/г [3].

Не реже 1 раза в полгода проводится радиационный контроль индивидуальных доз облучения персонала. Для этого применяются индивидуальные дозиметры, которые крепятся к поясам сотрудников службы авиационной безопасности (САБ). Для индивидуального дозиметрического контроля персонала рекомендуется использовать термолюминесцентные дозиметры на основе фтористого лития. Для уменьшения наводок по цепи питания рекомендуется использовать дозиметрические приборы с автономным питанием от батарей или аккумуляторов. Измерения заносятся в карточку учета индивидуальных доз внешнего облучения сотрудника САБ.

Помимо РТИ в пунктах досмотра аэропорта сотрудники досмотра применяют стационарные и ручные металлоискатели. Металлоискатель не должен создавать угрозу безопасности и здоровью пассажиров и персонала в процессе монтажа, наладки, эксплуатации, обслуживания и ремонта при условии соблюдения правил техники безопасности. Металлоискатель должен включать в себя контур защитного заземления, исключающий поражение электрическим током.

При работе стационарного металлоискателя должен соблюдаться комплекс мер, обеспечивающих безопасный процесс работы. Данное техническое средство досмотра должно быть исправным и эксплуатироваться только тогда, когда пройдет по всем стандартам, установленным нормативно-правовыми документами.

В случае, если при работе с металлоискателем сотрудник получает электротравму, ему необходимо оказать следующий комплекс мер:

- немедленно прекратить действия электрического тока на человека;
- местные повреждения закрыть стерильной повязкой;
- создать покой;

- дать болеутоляющее, успокаивающие средства и сердечные;
- лицо подлежит госпитализации.

Чтобы избежать подобных ситуаций, руководство предприятия проводит ряд проектов, направленных на защиту всего авиационного персонала, а именно, закупает максимально безопасную технику для быстрого и надежного технологического процесса, проводит инструктаж для работников и соблюдает правила эргономики во всех помещениях контролируемой зоны аэропорта.

Работа инспектора по досмотру – это самая ответственная профессия, которую можно встретить в аэропорту. Его задачей является обеспечить авиационную безопасность и защищенность пассажиров, багажа, личных вещей от незаконного вмешательства в деятельность гражданской авиации. Для выполнения своих обязанностей он должен обладать определенными качествами и навыками.

В заключение хотелось бы сказать, что полная безопасность аэропорта ложится не только на плечи инспектора по досмотру, а также на руководителя предприятия. Ведь он создает безопасные и все необходимые условия труда, чтобы персонал выполнял свою работу в соответствии с правилами, нормативно-правовыми документами, а также в соответствии со своей должностной инструкцией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р. 55249 – 2012 «Воздушный транспорт. Аэропорты. Технические средства досмотра. Общие технические требования»
2. Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. № 47 // Российская газета. – 2009. – № 171/1.
3. Об утверждении СанПиН 2.6.1.2748-10 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при работе с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения»: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 15 октября 2010 года № 132 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2011. – № 3.

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СЕРВИСА НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ

**Сайбель О. И.**

**Максимова И. А.**  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал  
Московского государственного технического университета  
гражданской авиации  
(г. Иркутск)*

Статья затрагивает актуальные в настоящее время вопросы сервисного обслуживания в российских аэропортах. К сожалению, только в крупнейших аэропортах страны сервис соответствует международным требованиям. В статье рассмотрены мероприятия по организации и реализации задач, связанных с улучшением качества сервиса в аэропортах, позволяющие обеспечить конкурентоспособность и увеличить эффективность работы. Приводятся примеры некоторых зарубежных перевозчиков, а также российских, по внедрению передовых технологий сервисного обслуживания. Однако перспективы качественного сервисного обслуживания имеются, и связаны они с внедрением современных технологий, делающих сервис приятным, комфортным и удобным.

*Ключевые слова:* проблемы сервисного обслуживания, опыт зарубежных перевозчиков, инновационные разработки, ежегодная премия, современные технологии.

Наверняка, любой авиапассажир, даже просто посетитель аэропорта, знаком с этим понятием – «сервисные услуги». Понятие емкое и многоаспектное. С точки зрения профессионального подхода, сервисные услуги в аэропортах призваны обеспечить многое: это удовлетворение сервисных потребностей клиентов; формирование благоприятного корпоративного имиджа аэропорта; формирование фирменного стиля обслуживания пассажиров и клиентов; достижение максимальной прибыли от неосновных видов деятельности аэропорта за счет производства и реализации сервисных услуг собственными силами и силами концессионеров.

Под производством и реализацией сервисных услуг в аэропорту для авиапассажиров и клиентов понимаются услуги общественного питания, розничной торговли, обслуживание пассажиров в залах повышенной комфортности, транспортные услуги, развлекательные программы, услуги комфорта для пассажиров и сопровождающих лиц, клиентов, информационные услуги, бытовые услуги, а также наземная подготовка рейсов к обслуживанию

пассажиров на борту воздушного судна (бортовое питание, уборка и экипировка пассажирских салонов, торговля на борту ВС, развлекательные программы и печатные издания) [5].

Сегодня в большинстве международных аэропортов России сервисные услуги далеки от потребностей клиентов и крайне редко соответствуют их требованиям к безопасности, стоимости, качеству. А аэропорты несут ответственность перед потребителем за безопасность и качество сервисных услуг [3]. Для создания необходимых благоприятных условий для формирования современной инфраструктуры производства и реализации этих услуг в аэропорту необходимо: определить корпоративные требования (стандарты) аэропорта к безопасности и качеству сервисных услуг для пассажиров и клиентов, соответствующие общепринятым международным требованиям; определить корпоративные требования аэропорта к концессионерам по производству и реализации сервисных услуг; создать систему аккредитации и контроля производственной деятельности концессионеров по выполнению требований корпоративных стандартов аэропорта к сервисным услугам; определить корпоративные требования к персоналу аэропорта по формированию фирменного стиля обслуживания пассажиров и клиентов (внешний вид, правила этикета общения на работе и на территории аэропорта) и обеспечить подготовку персонала для их выполнения и контроля; определить критерии оценки эффективности работы концессионеров и подразделений аэропорта по производству и реализации данных услуг.

Для повышения конкурентоспособности и увеличения эффективности работы, для обеспечения доступа к современным технологиям аэропортам необходимо решить следующие задачи:

- изучить вопросы и выработать рекомендации по взаимоотношениям между аэропортами, авиакомпаниями и агентами по наземной подготовке рейсов в аэропортах к обслуживанию пассажиров;
- изучить вопросы и выработать рекомендации по предоставлению сервисных услуг пассажирам, соответствующих международным стандартам безопасности и качества;
- разработать стандарты наземной подготовки рейсов для обслуживания пассажиров в полете и в аэропортах, основанных на рекомендациях ИАТА, ИКАО и других международных организаций;
- развивать систему добровольной сертификации сервисных услуг для авиапассажиров;

– развивать производственные мощности и технологии, ориентированные на производство и реализацию услуг для пассажиров [4].

Для оказания практической помощи аэропортам по повышению конкурентоспособности и увеличения эффективности их работы, обеспечения доступа к современным технологиям и стандартам производства сервисных услуг создан «Комитет по организации сервисных услуг для авиапассажиров», перед которым и поставлены задачи по подготовке экспертной оценки подготовки и реализации проектов, а также производственных мощностей и технологий, ориентированных на производство и реализацию сервисных услуг для пассажиров.

Основными задачами для аэропортов сегодня являются такие, как сокращение времени обслуживания пассажиров на всех этапах технологического обслуживания, как при внутренних, так и при международных перевозках; совершенствование обслуживания особой категории пассажиров; расширение сотрудничества с туристическими фирмами, отелями, авиакомпаниями, железнодорожными вокзалами по предоставлению услуг регистрации, оформления багажа, доставки в аэропорт и из аэропорта.

Российскими перевозчиками и аэропортами широко используется опыт зарубежных перевозчиков и аэропортов по предоставлению услуг, улучшающих сервис.

Много внимания уделяется ускорению прохождения пассажирами в аэропортах наиболее длительных процедур – регистрации, паспортного и таможенного контроля. Для ускорения процесса регистрации многие авиапредприятия не просто увеличивают количество регистрационных стоек, но и внедряют новые способы осуществления этого процесса. Так, например, американская компания «United Airlines» первой предложила своим клиентам регистрацию по телефону, что позволяет пассажирам приехать в аэропорт за 45 мин до вылета. Некоторые перевозчики сократили это время до 40–30 мин (с условием отсутствия громоздкого багажа, который надо сдавать в багажное отделение самолета). Сократить время на регистрацию позволяет новая система, которую внедряет авиакомпания «Lufthansa». Она рассчитана на часто путешествующих пассажиров, имеющих электронный билет и мобильный телефон, поддерживающий протокол WAP (этот протокол дает возможность просматривать ресурсы Интернет на дисплее сотового телефона). Дело в том, что при регистрации «Lufthansa» выдает своим пассажирам посадочный талон со штрих кодом, считываемый при посадке в самолет. Используя новую систему, клиент может зарегистрироваться на рейс прямо дома или по дороге

в аэропорт, сидя в такси, так как штрих код в этом случае может быть передан на дисплей сотового телефона.

Многие зарубежные отели, сотрудничающие с аэропортами, открывают у себя службы для регистрации авиапассажиров. Не отстают от таких нововведений и российские предприятия размещения. Так, гостиничный комплекс «Аэротель», расположенный в 100 м от аэропорта Домодедово, предлагает туристским группам, останавливающимся в нем, регистрацию на авиарейс прямо в гостинице. Для этого в «Аэротеле» установлен компьютер со специальной программой, а в день вылета сюда приезжает агент из аэровокзального комплекса. Туристы регистрируются на рейс, сдают багаж, получают посадочные талоны и бесплатно доставляются на автобусе в аэропорт.

Бесплатную перевозку между аэропортом и городом организовал «Аэрофлот» для своих пассажиров в Санкт-Петербурге и Хабаровске. В Санкт-Петербурге к услугам пассажиров предоставляются комфортабельный микроавтобус «Соболь» и автомашины «Волга». Чтобы воспользоваться этими услугами, необходимо подойти в зале прилета к отдельной стойке «Аэрофлота» с надписью «Бесплатная доставка», предъявить авиабилет с рейса и получить ваучер на проезд. Авиакомпания «Сибирь» предлагает пассажирам, летящим в Новосибирск, забронировать автомобиль непосредственно еще во время полета на борту самолета. Машины развозят клиентов авиакомпании из аэропорта Толмачево как по самому Новосибирску, так и в другие города региона. При этом цены на проезд фиксированы и зависят от типа автомобиля (микроавтобус, легковое авто), времени суток (день или ночь) и расстояния и не зависят от количества занятых мест. Кроме того, «Сибирь» организует транспортное обслуживание клиентов в сотрудничестве с немецкими железными дорогами. Своим пассажирам, отправляющимся в Германию, авиаперевозчик предоставляет бесплатный проезд по железной дороге Deutsche Bahn AG от аэропорта прибытия до конечного пункта назначения в Германии и обратно. При этом проезд по железной дороге возможен в первом (только при условии осуществления воздушного перелета в бизнес-классе) и втором классах.

Ярким примером усилий перевозчиков по совершенствованию сервиса, связанного с технологией перевозок, явилось принятие «Аэрофлотом» единых стандартов обслуживания пассажиров. В этих стандартах регламентированы правила и порядок предоставления конкретных услуг при подготовке к полету, во время него, а также в случае задержки вылета. В значительной степени

стандартизация услуг была обусловлена стремлением «Аэрофлота» вступить в глобальный союз «Sky Team», образуемый компаниями «Air France», «Delta Airlines», «Korean Air» и «Air Mexico». Важнейшее требование к каждому из его участников – предоставить пассажирам высококачественное обслуживание на протяжении всей перевозки [2].

Членство в альянсе значительно расширяет формы сотрудничества между авиаперевозчиками, давая возможность каждому из них предоставлять пассажирам услуги, которые они не могли бы обеспечить им самостоятельно. В частности, у каждой авиакомпании есть собственные гостиницы, клубы, фирмы по прокату автомобилей, зоны отдыха и бизнес-центры в аэропортах. Соглашение о сотрудничестве дает возможность пассажирам, летающим рейсами одной авиакомпании – участницы альянса, пользоваться всеми благами других перевозчиков.

Расширяются услуги и в аэропортах. Для пассажиров первого и бизнес-класса в крупнейших аэропортах мира есть комнаты для отдыха, залы ожидания и бизнес-центры. Например, в Руасси имеется комфортабельный салон на 60 пассажиров, открытый авиакомпанией «Lufthansa» для своих туристов. Некоторые авиакомпании из-за тесноты в аэропортах организуют совместные салоны, в которых общими усилиями предоставляют в распоряжение путешествующих деловых людей различное оборудование (факсы, телефоны, компьютеры) и кушетки для отдыха. Аэропорт Франкфурта-на-Майне предлагает очень широкий набор услуг: душевые, помощь стоматолога, культовые помещения для протестантов, католиков, иудеев или мусульман, дискотека «Дориан Грей», боулинг-зал, большое количество магазинов, лавочек, бутиков и др.

В американских салонах «Adviral Club» имеется душ, что позволяет сильно спешащим бизнесменам, не заезжая в отель, сразу отправиться по делам или на работу. «British Airways» предлагает душ и массаж в рекреационном центре отеля «Forte Crast». В Ванкувере в салонах «Air Canada» пассажиров ждет офисный центр с компьютерами и выходом в Интернет. В южно-корейском международном аэропорту пассажирам разрешается бесплатно пользоваться интернет-сайтами, отправлять электронную почту.

Компания «Iberia» в помощь путешественникам создала специальную службу, сотрудники которой помогают пассажирам ориентироваться в аэропорту и готовы исполнить их небольшие поручения (для отличия эти служащие носят яркие красные куртки). Если кто-то забыл важный документ, обслуживающий консьерж разыщет его и доставит; возникла необходимость

купить цветы – с такой просьбой также можно обратиться к представителю этой службы. Если рейс задерживается — клиента предупредят заранее, пока он не успел выехать из дома. Уже говорилось о том, что авиакомпании очень внимательно относятся к авиапассажирам с детьми. Например, в лондонском аэропорту Хитроу авиакомпания «British Airways» открыла собственные ясли, где опытные няни присматривают за ребенком, если родителям необходимо отлучиться по делам. В аэропорту Сиднея для детей работает специальный зал с развивающими играми, книгами, кубиками «Лего» и клоунами.

Чтобы заполнить досуг пассажиров во время ожидания рейса, авиакомпании могут предложить им и необычные услуги развлекательного характера. Например, в международном аэропорту Абу-Даби (ОАЭ) для транзитных пассажиров в 500 м от аэропорта открыт гольф-клуб, где можно скоротать свободное время перед вылетом. В мюнхенском аэропорту появился первый аэропортовый ресторан с собственной пивоварней, где можно дегустировать свежеприготовленный напиток с 10 ч утра до 1 ч ночи; сиднейский аэропорт предоставляет помещение для любителей караоке.

Современные технологии сегодня используются и в крупных российских аэропортах. Например, приложение FLIO – сервис для путешественников, который призван помочь им сориентироваться в любом незнакомом аэропорту мира. Приложение содержит всю необходимую информацию по каждому из аэропортов в базе: карту, месторасположение, пароли от сетей Wi-Fi, акции на скидки в кафе и так далее.

Сейчас в приложении есть информация о более 900 аэропортах по всему миру. Например, посетители аэропорта Хитроу могут с помощью FLIO получить 10-процентную скидку на кофе в Starbucks, а также приобрести билет на аэроэкспресс до Лондона.

Ещё один аспект работы с сервисом, который подчёркивают представители проекта, заключается в том, что в большинстве случаев пользователю не нужно вводить никакие дополнительные данные, чтобы подключиться к сети, а в некоторых аэропортах подключение к Интернету проводится в автоматическом режиме.

Система, уже успешно внедренная в 46 крупнейших авиационных узлах мира, активно используется подразделениями безопасности, командами аэродромного обеспечения и пассажирскими службами крупнейших воздушных гаваней планеты, активно задействована в обслуживании пассажиров с ограниченными возможностями для обеспечения пассажирам-инвалидам максимально комфортного пребывания в здании аэровокзала, в том

числе при возникновении непредвиденных ситуаций [1]. В российских аэропортах коммуникационное приложение Zello также успело обзавестись поклонниками.

Результаты современного положения в российских аэропортах говорят сами за себя: сразу три российских аэропорта разделили первую строчку в рейтинге лучших авиагаваней Европы по версии премии Airport Service Quality (ASQ), аэроузлах с пассажиропотоком свыше двух миллионов человек в год.

Лидерами списка стали аэропорты Сочи (Адлер), Шереметьево (Москва) и Пулково (Санкт-Петербург). На второй строчке рейтинга расположились авиагавани Цюриха (Швейцария), Праги (Чехия), Дублина (Ирландия) и Мальты. Третье место разделили лондонский Хитроу, исландский Кеблавик и аэропорты Копенгагена (Дания), Порту (Португалия) и Вены (Австрия).

Московский аэропорт Шереметьево уже признавался лучшим по версии ASQ в 2012-2014 годах. Для Пулково и Сочи нынешняя победа стала первой.

Ежегодная премия ASQ присуждается Международным советом аэропортов (Airports Council International).

Таким образом, можно сказать, что у российских аэропортов есть к чему стремиться, есть очень много перспективных проектов, связанных с внедрением современных технологий, помогающих сделать сервис качественным, а пребывание в аэропортах удобным, приятным, комфортным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 3 мая 2012 г. № 46-ФЗ «О ратификации конвенции о правах инвалидов».
2. Постановление правительства РФ от 01.12.2015 г. № 1297 «Об утверждении программы Российской Федерации «Доступная среда» на 2011–2020 годы».
3. Федеральный закон «О транспортной безопасности» (от 09.02.2007 г. № 16 ФЗ).
4. Закон РФ «О защите прав потребителей» от 25.10.2007 г.
5. ГОСТ 54-1-283.01-94 «Система качества перевозок и обслуживания пассажиров воздушным транспортом. Услуги для пассажиров на борту воздушных судов внутренних воздушных линий РФ. Основные требования».

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СНАБЖЕНИЯ ЦЕНТРОВ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КОМПЛЕКТУЮЩИМИ  
ДЛЯ САМОЛЕТОВ BOEING 737**

**Николаева В. В.**  
*lera271994@mail.ru*

**Кропивенцева С. А.**  
*(научный руководитель)*

*Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С. П. Королёва  
(г. Самара)*

Важнейшей составляющей жизненного цикла самолета является поддержание самолета в исправном состоянии. Ключевую роль в этой системе играет доставка комплектующих изделий для центров технического обслуживания и ремонта воздушных судов. Задачей специалистов по техническому обслуживанию и ремонту авиационной техники является контролирование сроков поставки комплектующих для центра технического обслуживания. Для обеспечения экономичности процессов технического обслуживания необходимо выдерживать сроки закупки комплектующих изделий и обеспечивать соответствие между количеством поставок и потребностями в них. Поэтому управление поставками представляется актуальной задачей, решение которой позволит сократить продолжительность осуществления поставок и уменьшить их расходы.

*Ключевые слова:* сроки поставки, управление проектами, метод PERT, метод критического пути, сетевой граф, резервы времени, компьютерная программа OpenProject.

Эффективная эксплуатация современных гражданских воздушных судов (ВС) немислима без надежной и экономичной системы поддержания летной годности самолета. Задача организации процесса снабжения комплектующими изделиями авиационной техники требует особого внимания авиаперевозчика.

Своевременная доставка комплектующих изделий в центр технического обслуживания (ТО) влияет на экономическую составляющую использования самолета, благодаря сокращению времени простоя воздушного судна в ожидании ТО. Для своевременного заказа комплектующих, а следовательно, для своевременной поставки, необходимо вести учет состояния авиационной техники и вести документальное сопровождение процессов технического обслуживания и ремонта авиационной техники, чтобы знать, когда и какие комплектующие будут необходимы.

Наиболее проблемной представляется организация поставок комплектующих изделий для иностранных воздушных судов, так как чаще всего заказываются оригинальные комплектующие у завода изготовителя, который находится на территории другой страны. В связи с этим возникают большие трудности в оформлении необходимых документов, прохождении таможенных процедур и др., что может повлиять на продолжительность поставки. Также на срок доставки комплектующих оказывает влияние требуемая срочность заказа, задержки на стадии перевозки и т. п.

Поэтому целесообразно будет рассмотреть поставку комплектующих изделий на примере такого широко распространенного иностранного самолета как Boeing 737. Поставка будет осуществляться в аэропорт Внуково, так как именно там располагается завод, осуществляющий почти все виды технического обслуживания самолета Boeing 737. Так как комплектующих у самолета может быть тысячи, можно выбрать один вид комплектующих, для которого рассмотрим все процессы по доставке. Таким образом, рассмотрим поставку комплектующих изделий шасси для самолета Boeing 737 в аэропорт Внуково.

Известно, что шасси для самолета Boeing 737 производят в нескольких странах, например в США и Англии, и очевидно, что способов доставки в Россию будет несколько. Поэтому вначале необходимо выбрать оптимальный по стоимости и времени метод транспортировки, а затем уже приступить к анализу и оценке процессов доставки.

Процесс поставки комплектующих можно представить в виде проекта с перечнем выполняемых работ и указанием взаимосвязей между ними. В целях управления процессом поставки применяются различные методы управления проектами. Когда продолжительность выполнения работ не определена точно, применяют метод PERT. Такой метод позволяет рассчитать ожидаемое время выполнения работ и проекта в целом и определить, с какой вероятностью проект будет выполнен в указанное время [1]. При этом время выполнения каждой работы считается случайной величиной, для которой определяются три оценки:

- 1) оптимистическое время выполнения работы  $a_i$ ;
- 2) наиболее вероятное время выполнения работы  $m_i$ ;
- 3) пессимистическое время выполнения работы  $b_i$ .

Перечень работ и характеристики времени их выполнения, а также результаты расчетов ожидаемого времени  $t_i$  и дисперсии  $\sigma_i^2$  времени выполнения работ по методу PERT указаны в табл. 1.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов решения задачи методом PERT

Обозначение	Работа	$a_i$	$m_i$	$b_i$	$t_i$	$\sigma_i^2$
A	Заключение контракта с заводом на поставку комплектующих изделий	5	6	10	6,50	0,69
B	Заключение договора транспортно-экспедиционного обслуживания	3,5	5	6,5	5,00	0,25
C	Страхование груза	6	8	10	8,00	0,44
D	Оформление паспорта импортной сделки	4,5	6	7	5,92	0,17
E	Оформление разрешительных документов на импорт комплектующих изделий	4,5	6	9	6,25	0,56
F	Перечисление авансового платежа	3,5	4	5	4,08	0,06
G	Поступление груза на таможенный пост. Таможенное оформление	6	9	12	9,00	1,00
H	Поступление груза на склад	3,5	4	5	4,08	0,06
I	Извещение о поступлении груза	1	2	3	2,00	0,11
J	Перечисление оставшейся суммы сделки	1,5	2	4	2,25	0,17

Для управления проектом важным моментом является определение критического пути по методу СРМ, или по методу критического пути (МКП). Такой метод позволяет определить:

- минимальное время выполнения проекта;
- время начала и окончания отдельных работ;
- перечень критических работ, выполнение которых должно выполняться строго в установленные сроки, так как они влияют на срок выполнения проекта;
- на какое время можно отложить срок выполнения «некритических» работ без удлинения сроков выполнения проекта.

Зная перечень основных работ по проекту, их продолжительности, а также установленные связи между работами, можно составить сетевой граф (Рис. 1). Где буквами А–J обозначены работы по проекту, а продолжительность  $i$  работы равна ожидаемому времени  $t_i$  выполнения работы, найденному по методу PERT.

Критическим путем является максимальный по продолжительности полный путь в сети (в сетевой модели). Им является путь А-В-Е-Г-И-Ј, в решаемой задаче он равен 31 дню.

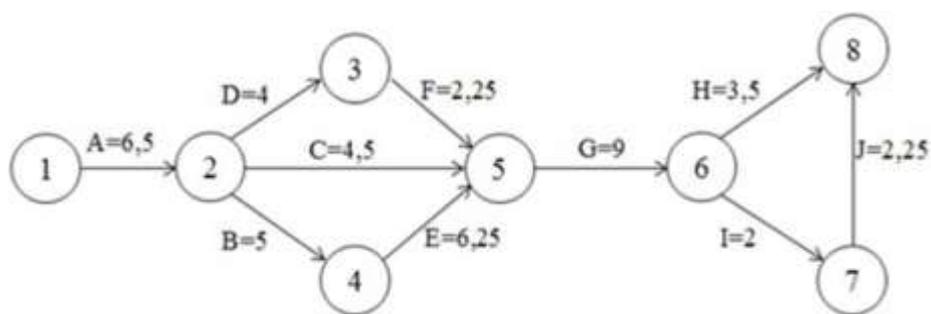


Рисунок 1 – Схема осуществления торговой сделки по импорту комплектующих изделий

Работам, принадлежащим критическому пути, следует уделять особое внимание. Если такая работа будет отложена на некоторое время, то время окончания проекта будет отложено на такое же время [2].

Ключевым моментом в методе критического пути является определение резервов времени. Резерв времени представляет собой максимальное время, на которое можно задержать наступление события без увеличения срока выполнения проекта. Зная такое время, управление отдельными процессами (работами) проекта становится более эффективным. Очевидно, что резерв времени может быть у работ, не лежащих на критическом пути, так как для любой работы критического пути резервы времени равны нулю. Различают суммарный, свободный, независимый и гарантированный резервы времени, каждый из которых отличается от другого по условиям применения, например, гарантированный резерв времени используется, если все предшествующие работы выполняются с запозданием.

Для конкретных условий задачи рассчитанные значения резервов времени представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Резервы времени

Работа	$TF_{ij}$	$FE_{ij}$	$IF_{ij}$	$SF_{ij}$
A	0,00	0,00	0,00	0,00
B	0,00	0,00	0,00	0,00
C	3,25	3,25	3,25	3,25
D	1,25	0,00	0,00	1,25
E	0,00	0,00	0,00	0,00
F	1,25	1,25	0,00	0,00
G	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,17	0,17	0,17	0,17
I	0,00	0,00	0,00	0,00
J	0,00	0,00	0,00	0,00

В соответствии с проведенными расчетами резервы времени имеют четыре работы:

Страхование груза (С) имеет все четыре резерва времени.

Оформление паспорта импортной сделки (D) имеет суммарный и гарантированный резервы времени.

Перечисление авансового платежа (F) имеет суммарный и свободный резервы времени.

Поступление груза на склад (H) имеет четыре резерва времени.

Для определения вероятности завершения проекта в установленный срок используется таблица распределения величины  $z$  (Рис. 2), где за  $T_0$  принимается время, необходимое для выполнения проекта;  $E(T)$  – время выполнения проекта, равное сумме ожидаемых значений времени выполнения работ, лежащих на критическом пути, а  $\sigma$  – это дисперсия общего времени, необходимого для завершения проекта. При этом  $T_0 = 32$  дня, а  $E(T) = 31$  день.

$$z = \frac{T_0 - E(T)}{\sigma(T)}$$

$$\sigma(T) = \sqrt{\sigma}$$

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0.1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0.2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0.3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0.4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0.5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0.6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0.7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7703	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0.8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0.9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1.0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1.1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8769	0,8788	0,8807	0,8826
	0,8844	0,8861	0,8878	0,8895	0,8911	0,8927	0,8942	0,8957	0,8972	0,8986

Рисунок 2 – Таблица нормального распределения величины  $z$

В решаемой задаче вероятность того, что проект будет завершён через 32 дня составляет 73%, что означает достаточно высокий уровень надёжности полученного результата.

В производственной деятельности для контроля процесса доставки комплектующих применяют компьютерные технологии, например программу по управлению проектами OpenProject [2]. OpenProject – это кроссплатформенное программное обеспечение, которое дает возможность участникам проекта работать удаленно. OpenProject позволяет контролировать ход реализации проекта по трем основным показателям:

- соблюдение календарных сроков выполнения задач;
- произведенный объем работ;
- соответствие фактических затрат бюджету.

Оптимизация процесса доставки заключается не только в глубокой детализации перечня совершаемых работ, но и в определении минимального срока поставки и резервов времени на некоторые работы, в реализации проекта в компьютерной программе, в распределении ресурсов, необходимых для реализации проекта, в определении дополнительных ресурсов с целью уменьшения срока выполнения проекта, а также в определении цен ресурсов, стоимости проекта и в управлении бюджетом проекта в целом.

Грамотное управление проектом позволяет сократить время выполнения поставки, это связано с использованием дополнительных ресурсов, (например, смена метода транспортировки), затраты на поставку при этом увеличиваются. В результате следует искать компромисс между сокращением выполнения отдельной работы и экономией дополнительных затрат на организацию снабжения комплектующими центрами технического обслуживания воздушных судов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев, М. Ю. Прикладные задачи исследования операций [текст]: учебное пособие / М. Ю. Афанасьев, К. А. Багриновский, В. М. Матюшок, – М: Инфра, 2006. – 352 с.
2. Кропивенцева, С. А. Применение компьютерных технологий в организации экспортно-импортных операций [текст]: учебное пособие / С. А. Кропивенцева – СНИУ, 2017. – 72 с.

## ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОХРАНЕ ПЕРИМЕТРА АЭРОПОРТА

**Руденко Т. В.**

*tanja-rudenko89041208856@mail.ru*

**Вишнякова А. А.**

*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*

*Московского государственного технического университета*

*гражданской авиации*

*(г. Иркутск)*

Статья посвящена вопросам создания комплексных систем безопасности в аэропортах, а именно, вопросам, связанным с профессиональной организацией охраны территории аэропорта на базе применения инновационного оборудования, необходимого для обеспечения визуального контроля. В статье представлены последние инновационные разработки в области охраны территорий аэропорта, даны их функциональные характеристики.

*Ключевые слова:* аэропорт, авиационная безопасность, пропускной режим, внутриобъектовый режим, система охраны периметра аэропорта, служба авиационной безопасности, контрольно-пропускной пункт, технические средства, охрана территории аэропорта, визуальный контроль.

Аэропорты относятся к одним из самых сложных, с точки зрения обеспечения безопасности, объектам, отличающимся большой площадью, удаленностью и одновременно являющимся местом массового скопления людей, техники, а также горюче-смазочных материалов. От их стабильного функционирования зависит безопасность полетов, а следовательно, и жизнь тысяч людей.

Систему авиационной безопасности возможно представить следующими элементами:

- нормативное правовое регулирование;
- сотрудники службы авиационной безопасности, а также другой персонал;
- материально-техническое обеспечение.

Основные требования по защите отечественной гражданской авиации от актов незаконного вмешательства в ее деятельность обозначены в Воздушном кодексе Российской Федерации.

Так, обеспечение авиационной безопасности предусматривает:

1) предотвращение доступа посторонних лиц и транспортных средств в контролируемую зону аэропорта или аэродрома;

2) охрану воздушных судов на стоянках в целях исключения возможности проникновения на воздушные суда посторонних лиц;

3) исключение возможности незаконного провоза на воздушном судне оружия, боеприпасов, взрывчатых, радиоактивных, отравляющих, легковоспламеняющихся веществ и других опасных предметов и веществ и введения особых мер предосторожности при разрешении их провоза;

4) предполетный, а также послеполетный досмотр;

5) реализацию мер противодействия актам незаконного вмешательства в деятельность в области авиации, осуществляемых с участием правоохранительных органов;

б) исключение возможности несанкционированного доступа посторонних лиц к беспилотным авиационным системам [1].

Осуществление комплекса мероприятий по обеспечению безопасности гражданской авиации от актов незаконного вмешательства, усиление мер безопасности в период повышенной угрозы или чрезвычайных обстоятельств возложено на службу авиационной безопасности, являющейся самостоятельным структурным подразделением аэропорта.

Основными задачами службы авиационной безопасности аэропорта являются:

– предотвращение и пресечение (совместно с органами ФСК России и МВД России) попыток захвата (угона) воздушных судов;

– осуществление в установленном порядке досмотра членов экипажей, обслуживающего персонала, авиапассажиров, ручной клади и багажа, почты, грузов и бортовых запасов (бортпитания) в целях предотвращения доставки на борт воздушного судна оружия, боеприпасов, взрывных устройств, взрывчатых, отравляющих, легковоспламеняющихся и других веществ, которые могут быть использованы для совершения акта незаконного вмешательства;

– обеспечение охраны территории аэропорта и расположенных на ней объектов, включая авиационную технику, зоны рабочих секторов, курсовых и глиссадных радиомаяков, объектов управления воздушным движением, радио- и светотехнического оборудования аэродромов, складов горюче-смазочных материалов, коммерческих складов;

– организация контролируемых зон в аэропортах и обеспечение пропускного режима;

– предоставление эксплуатантам воздушных судов дополнительных услуг по авиационной безопасности (охрана ВС, дополнительный досмотр ВС и др.) на договорных условиях [2].

Что касается материально-технического обеспечения авиационной безопасности, то осуществление надежной охраны возможно лишь с использованием любых технических средств, начиная от дорогостоящих систем видеонаблюдения, слежения и, заканчивая сложными системами контроля доступа.

В настоящее время в аэропорту существует:

1. Ограждение. Оно предназначено для физического и психологического барьера, а также для препятствия проникновению посторонних лиц и крупных животных на территорию аэропорта.

2. Контрольно-пропускные пункты (КПП), должным образом оборудованные надежными средствами связи, освещением, турникетами, металлическими воротами с автоматизированными системами открытия и закрытия, тревожной сигнализацией, техническими средствами для досмотра работников аэропорта и всех лиц при допуске их в контролируемую зону, а также специальными устройствами для досмотра транспортных средств и грузов.

3. Освещение служит помощником для системы видеонаблюдения, в ночное время обязательно освещение отдельно стоящих складов ГСМ, цеха бортового питания, коммерческих складов, КПП.

4. Видеонаблюдение предназначено для наблюдения за большой территорией аэропорта.

5. Охранная сигнализация предназначена для обнаружения появления нарушителя и подачи сигнала тревоги [3].

Во избежание нахождения посторонних лиц на охраняемой территории в аэропорту организованы проходной и внутриобъектовый режимы.

Задача пропускного режима – исключить несанкционированное проникновение посторонних лиц и транспортных средств на охраняемую территорию аэропорта; задача внутриобъектового режима – исключить возможность бесконтрольного передвижения персонала, транспортного средства в контролируемой зоне аэропорта.

В периоды повышенной опасности действующая в аэропорту система пропускного и внутриобъектового режима должна быть усилена.

Четкое выполнение требований пропускного и внутриобъектового режимов является эффективным методом обеспечения безопасности аэропорта.

Профессиональная организация охраны не обходится без применения инновационного оборудования, необходимого для обеспечения визуального контроля за территорией аэропорта.

На сегодняшний день одной из последних инновационных разработок в области охраны территорий аэропорта является интегрированная система безопасности «Интеллект». «Интеллект» – это многофункциональная открытая программная платформа, предназначенная для создания комплексных систем безопасности любого масштаба [4].

Система безопасности на базе программного комплекса «Интеллект» способна объединить видеонаблюдение, охранно-пожарную сигнализацию (ОПС), систему охраны периметра, систему контроля и управления доступом (СКУД), аудиоконтроль в согласованно работающую инфраструктуру.

Благодаря «Интеллекту» комплекс различных систем безопасности превращается в единую информационную среду, в которой реализованы функции обработки и интеллектуального анализа информации, обладающую способностью гибко реагировать на различные события. Благодаря же модульной архитектуре заказчик может выбирать именно те функции, которые нужны для построения эффективной системы безопасности конкретного объекта, таким образом, получая систему с оптимальным набором функций и минимальными издержками.

«Интеллект» – то, что необходимо руководству аэропорта, которое предъявляет повышенные требования к безопасности объекта, и которым необходима максимальная надежность как аппаратной, так и программной составляющей системы безопасности.

«Face-Интеллект» – система идентификации и верификации человека, основанная на распознавании лица. Система «Face-Интеллект» может быть интегрирована с различными подсистемами (видеонаблюдение, СКУД/ОПС/ПСЗ, распознавание номеров автомобилей). Такое оборудование помогает обеспечить эффективную защиту объекта благодаря построению комплексной системы, включающей различные уровни охраны.

Благодаря новейшим технологиям, российские ученые прилагают максимум усилий для произведения новых открытий. Так, в 2017 году Объединённая приборостроительная корпорация (входит в Госкорпорацию Ростех) начнет серийные поставки нового роботизированного радиолокационно-оптического комплекса «Полет-1» для охраны территорий аэропорта.

Комплекс способен без участия человека осуществлять автоматический мониторинг местности, находить нарушителей и отслеживать их передвижения, передавая всю информацию на операторский пункт.

В комплекс входит радиолокатор, тепловизор, видеокамеры разного типа и специальное (отечественное) программное обеспечение, отвечающее за автоматизированное взаимодействие всех технических средств. Разработку в составе Объединенной приборостроительной корпорации ведет Челябинский радиозавод «Полет».

С помощью роботизированного радиолокационно-оптического комплекса «Полет-1» система обнаруживает нарушителя, без участия оператора передает команду целеуказания оптико-электронному модулю, который распознает тип объекта – человек, автомобиль и другие виды техники, включая низколетящие беспилотные летательные аппараты, на расстоянии нескольких километров. Технические возможности комплекса позволяют вести наблюдение в любое время суток даже в сложных метеоусловиях [5].

Также Объединенная приборостроительная корпорация ведет работы над интеллектуальной системой контроля и охраны периметра для особо важных объектов. В состав комплекса входит группа воздушных и наземных роботов, оборудование которых позволяет без участия человека осуществлять непрерывный мониторинг обширных территорий и оперативно информировать службы безопасности об изменениях в обстановке.

По замыслу разработчиков, система сможет постоянно контролировать территорию площадью до нескольких сотен гектаров. Без участия человека она будет способна определить четкие координаты нарушителей, идентифицировать и отслеживать различные объекты, направлять робототехнические комплексы для детального мониторинга ситуации.

Система считывает малейшие вибрации поверхности с помощью волоконно-оптического кабеля, проложенного по охраняемой территории, позволяя точно определить тип объекта нарушителя (человек, автомобиль, гусеничная техника). Получив сигнал, она выводит детализированную информацию о нарушении периметра на карту операторского пульта и в автоматизированном режиме отправляет на место беспилотники самолетного или вертолетного типа, оснащенные средствами видеофиксации.

Высокая степень автоматизации комплекса позволяет значительно снизить затраты на персонал и охранное оборудование, так как вся необходимая информация о состоянии территории отображается в едином центре мониторинга. Особенно это актуально для сложных объектов с несколькими

охраняемыми участками. В результате исключается необходимость установки множественных охранных систем и дежурных постов на каждом отдельно взятом участке. В корпорации полагают, что данную разработку можно будет использовать для охраны территории аэропортов, а также закрытых гражданских объектов.

В заключение хочется отметить, что вопросу создания комплексных систем безопасности в аэропортах необходимо уделять достаточное внимание, т.к. они направлены на своевременное выявление и ликвидацию всех возможных угроз. В связи с непрерывным потоком людей, круглосуточной работой и рядом других факторов все существующие угрозы рассматриваются как максимальная защита, в первую очередь, людей. Система безопасности аэропорта обязана работать как единый организм 24 часа, 7 дней в неделю. Для этого должны применяться высокоэффективные, быстродействующие, надежные системы охраны периметра аэропорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. «Воздушный кодекс Российской Федерации» от 19.03.1997 № 60-ФЗ (ред. от 29.07.2017) (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.09.2017).
2. Приказ Минтранса России от 17.10.1994 № 76 «О введении в действие Типового положения о службе авиационной безопасности аэропорта».
3. Черток, В. Б. Авиационная безопасность. Основные требования к аэропортам – охрана периметра [текст] / В. Б. Черток // Транспортная безопасность и технологии. – 2014. – Вып. 3. – С. 56–64.
4. Информационная система «ITV АххонSoft – системы безопасности и видеонаблюдения» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itv.ru>. (дата обращения 20.11.2017). – Загл. с экрана.
5. Информационная система «Бюро научно-технической информации «Техника для спецслужб» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bnti.ru>. (дата обращения 20.11.2017). – Загл. с экрана.

## ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ

**Ружников Д. В.**

**Тахватулина Н. К.**  
(научный руководитель)

*Якутское авиационное техническое училище гражданской авиации (колледж) – филиал Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации»,  
(г. Якутск)*

В данной статье затрагивается тема экологической безопасности на воздушном транспорте как одно из направлений государственного регулирования использования воздушного пространства РФ и деятельности в области авиации. Основное внимание акцентируется на рассмотрении экологических требований на воздушном транспорте, требований по охране окружающей среды Конвенции международной гражданской авиации. Работа имеет междисциплинарный характер, написана на стыке воздушного права и охраны окружающей среды. Автором предложено внести отдельную главу по экологической безопасности в Воздушный кодекс Российской Федерации.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, экологические требования, воздушный транспорт, воздушное право.

В настоящее время одним из актуальных направлений исследования являются вопросы модернизации транспортной системы Российской Федерации, позволяющей повысить транспортную и экологическую безопасность РФ, в том числе и на воздушном транспорте. Правовые основы регулирования использования воздушного пространства РФ и деятельность в области авиации установлены Воздушным кодексом РФ [1] (далее – ВК РФ). Государственное регулирование использования воздушного пространства Российской Федерации и деятельности в области авиации, в соответствии с кодексом, направлено на обеспечение потребностей граждан и экономики в воздушных перевозках, авиационных работах, а также на обеспечение обороны и безопасности государства, охраны интересов государства, безопасности полетов воздушных судов, авиационной и экологической безопасности.

Понятие «экологическая безопасность» определено Федеральным законом «Об охране окружающей среды» [2], регулирующим отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении

хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду. Под экологической безопасностью, в соответствии со статьей 1 Закона, понимают состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

В целях государственного регулирования хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, гарантирующего обеспечение экологической безопасности, в соответствии со статьей 19 ФЗ «Об охране окружающей среды», осуществляется нормирование в области охраны окружающей среды, которое заключается в установлении нормативов качества окружающей среды, нормативов допустимого воздействия на окружающую среду.

В 2003 году Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ был принят Модельный закон «Об экологической безопасности» [3], регулирующий правовые отношения в области экологической безопасности. Структурой Модельного закона предусмотрены: основы управления экологической безопасностью государства, планирование мероприятий по обеспечению экологической безопасности государства, экономическое регулирование в области экологической безопасности, нормирование, оценка и предупреждение угроз экологической безопасности и другое. Но в Российской Федерации отдельный закон об обеспечении экологической безопасности не принят.

Воздушный кодекс РФ включает в себя отдельные главы: государственное регулирование использования воздушного пространства и деятельности в области авиации, государственный надзор в области гражданской авиации, воздушные суда, аэродромы, аэропорты и объекты единой системы организации воздушного движения, авиационный персонал, экипаж воздушного судна, авиационные предприятия, полеты воздушных судов, международные полеты воздушных судов, авиационную безопасность, поиск и спасание, расследования авиационного происшествия или инцидента, воздушные перевозки, авиационные работы, ответственность перевозчика, эксплуатанта и грузоотправителя.

Но отдельной главы, регулирующей обеспечение экологической безопасности ВК РФ, не предусмотрено. Вместе с тем, в кодексе содержатся отдельные статьи, регулирующие выполнение требований в области охраны окружающей среды от воздействия в области авиации.

Пунктом 2 части 1 статьи 8 ВК РФ предусмотрено, что обязательной сертификации в порядке, установленном федеральными авиационными правилами, подлежат пилотируемые гражданские воздушные суда, авиационные двигатели, воздушные винты и бортовое авиационное оборудование гражданских воздушных судов, за исключением пилотируемых гражданских воздушных судов, которым сертификат летной годности выдается на основании сертификата, типа аттестата о годности к эксплуатации, либо иного акта об утверждении типовой конструкции гражданского воздушного судна, выданного до 1 января 1967 года, или акта оценки конкретного воздушного судна на соответствие требованиям к летной годности гражданских воздушных судов и требованиям в области охраны окружающей среды от воздействия деятельности в области авиации, а также сверхлегких пилотируемых гражданских воздушных судов с массой конструкции 115 килограммов и менее.

Частью 2 статьи 35 Воздушного кодекса РФ предусмотрено, что требования к летной годности гражданских военных судов, авиационных двигателей, воздушных винтов и требований в области охраны окружающей среды от воздействия деятельности в области авиации определяются федеральными авиационными правилами. Статьей 36 ВК РФ предусмотрено, что гражданские воздушные суда допускаются к эксплуатации при наличии сертификата летной годности, который выдается на основании сертификата, типа аттестата о годности к эксплуатации, либо иного акта об утверждении типовой конструкции гражданского воздушного судна, выданного до 1 января 1967 года, или акта оценки воздушного судна на его соответствие требованиям к летной годности и к охране окружающей среды.

Статьей 74 ВК РФ полет воздушного судна со сверхзвуковой скоростью допускается на высоте, на которой исключается опасное воздействие звукового удара на окружающую среду. Правила выполнения полетов воздушных судов со сверхзвуковой скоростью устанавливаются федеральными авиационными правилами.

ВК РФ содержит статьи, напрямую отсылающие к федеральным авиационным правилам, поскольку воздушное законодательство, в соответствии со ст. 2 ВК РФ, включает также и федеральные правила использования воздушного пространства и федеральные авиационные правила.

Так, например, федеральными авиационными правилами определены общие технические требования к техническим средствам для выполнения авиационных работ. Техническая документация, разрабатываемая

производителем, должна отражать, в соответствии с ФАП «Технические средства для выполнения авиационных работ. Требования и процедуры сертификации», заявленные возможности и характеристики технического средства, порядок его монтажа и демонтажа на (с) ВС, правила и условия эксплуатации и обслуживания, включая нормы летной безопасности, охраны труда, санитарной и экологической безопасности [4].

Обеспечение экологической безопасности на транспорте предусмотрено рядом нормативно-правовых актов.

Административным Регламентом Росавиации предоставление государственной услуги по организации и проведению обязательной сертификации аэродромов предусмотрено, что заявителем на проведение обязательной сертификации аэродромов (кроме международных и категорированных), используемых в целях гражданской авиации, является лицо, осуществляющее координацию работ в аэропорту, обеспечивающее готовность аэропорта к приему и выпуску, обслуживанию воздушных перевозок, а также соблюдению всеми операторами и пользователями аэропорта требований безопасности полетов, авиационной и *экологической безопасности* [5].

Приказом Росавиации утверждено Положение о Комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности и ее состава. В число основных функций комиссии входит также рассмотрение вопросов разработки и реализации мероприятий по укреплению радиационной, химической, медико-биологической, взрывной, пожарной, экологической безопасности [6].

Одной из основных задач государственной службы гражданской авиации Министерства транспорта РФ является реализация концепции и программ развития гражданской авиации, направленных на повышение безопасности полетов, авиационной и экологической безопасности гражданских воздушных судов и на создание благоприятных правовых, экономических и организационных условий деятельности юридических и физических лиц на воздушном транспорте [7].

Основные требования по организации и осуществлению природоохранительной деятельности на предприятиях транспортно-дорожного комплекса (ТДК) – автомобильного, водного и воздушного транспорта, дорожного хозяйства, а также предприятиях, обслуживающих эти виды транспорта, – определены в отраслевом нормативном документе Минтранса России РД 152-001-94 «Экологические требования к предприятиям

транспортно-дорожного комплекса», утвержденным Министерством транспорта РФ от 20 мая 1994 г.[8] (далее – Требования).

Разделом 5 Требований определены требования к предприятиям воздушного транспорта (аэродромы (вертодромы) гражданской авиации, предназначенные для воздушных судов; авиакомпаниям, выполняющим пассажирские и грузовые перевозки; заводам по ремонту воздушных судов и их агрегатов; авиационно-техническим базам (АТБ).

Кроме того, Требованиями предусмотрено, что при строительстве предприятий (аэродромов, вертодромов) необходимо принимать меры по охране природной среды. Технические решения должны предусматривать недопущение причинения ущерба окружающей среде и обеспечивать сохранение устойчивого состояния природного баланса. Не допускается повреждение дерново-растительного покрова, выполнение планировочных, дренажно-осушительных работ за пределами территорий, отведенных для строительства аэродрома. Все повреждения, нанесенные природной среде в зонах временного отвода под строительство временных сооружений и дорог, проезда строительного транспорта, стоянки машин, складирования материалов и т. п., следует устранить к моменту сдачи аэродрома в эксплуатацию.

Площадки для мойки и антиобледенительной обработки воздушных судов спецжидкостями, склады топливосмазочных материалов и пункты заправки спецавтотранспорта топливом должны быть оборудованы системой отвода сточных вод и их очистки. На территории предприятий воздушного транспорта должны быть оборудованы дегазационно-обмывочные пункты. При этом должен быть организован сбор, очистка и обезвреживание загрязненной воды. При наличии на территории аэродрома радиолокаторных станций и других радиотехнических средств должны быть предусмотрены мероприятия по защите местного населения от воздействия сверхвысоких радиочастот.

В Требованиях указано, что максимальные уровни авиационного шума на вновь проектируемых территориях жилой застройки вблизи существующих предприятий воздушного транспорта, а также на территориях жилой застройки городов и поселков городского типа вокруг вновь проектируемых предприятий, не должны превышать норм, установленных стандартами. Например, приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июля 2014 г. №821-ст «Об утверждении межгосударственного стандарта» для добровольного применения в Российской Федерации с 1 января 2015 г. в качестве национального стандарта Российской Федерации ГОСТ 22283-2014 «Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки

и методы его измерения» [9].

Требованиями предусмотрено, что на существующих территориях в окрестностях действующих предприятий максимальные уровни авиационного шума не должны превышать значений, временно согласованных с местными органами власти. При этом предприятие обязано иметь план мероприятий по снижению шума до установленных стандартом требований. Предприятие должно иметь акустический паспорт, разработанный в соответствии с Рекомендациями по составлению акустических паспортов аэропортов гражданской авиации и содержащий зоны ограничения жилой застройки для существующих и перспективных условий эксплуатации предприятий, методы снижения и контроля авиационного шума, сравнительную оценку акустических характеристик эксплуатируемых воздушных судов и требований соответствующих стандартов.

Стандарты и Рекомендуемая практика по авиационному шуму были впервые приняты Советом 2 апреля 1971 года в соответствии с положениями статьи 37 Конвенции о международной гражданской авиации (Чикаго, 1944 год) в виде Приложения 16 к Конвенции, том 1. Авиационный шум [10].

При разработке Стандартов и Рекомендуемой практики, касающихся нормирования эмиссии авиационных двигателей, было решено, что все положения, относящиеся к проблеме влияния авиации на окружающую среду, должны быть объединены в одном документе. В соответствии с этим, как часть резолюции о принятии поправки 5, было решено, что название Приложения 16 должно быть изменено на «Охрана окружающей среды», а том I данного Приложения должен содержать существующие положения (издание третье) Приложения 16 «Авиационный шум» с внесенными в них, в соответствии с поправкой 5, изменениями; том II должен содержать положения, относящиеся к эмиссии авиационных двигателей.

После Специального совещания по авиационному шуму в окрестностях аэродромов проблема авиационного шума обсуждалась на нескольких сессиях Ассамблеи и Совета, в ходе которых основное внимание уделялось различным аспектам проблемы авиационного шума, определенных на Специальном совещании. 33-я сессия Ассамблеи, проходившая в Монреале с 25 сентября по 5 октября 2001 года, приняла резолюцию А33-7 «Сводное заявление о постоянной политике и практике ИКАО в области охраны окружающей среды», основная цель которой заключается в том, чтобы «охватить новую политику и новый инструктивный материал ИКАО, касающиеся авиационного шума», и отразить постепенно разработанную концепцию «сбалансированного

подхода» к управлению шумом.

В части 2, касающейся сертификации воздушных судов по шуму, в первой главе можно акцентировать внимание на некоторые положения.

Сертификат о соответствии нормам по шуму выдается или ему придается сила государством регистрации воздушного судна на основании убедительных данных о том, что это воздушное судно отвечает требованиям, которые, по крайней мере, равноценны применимым Стандартам, содержащимся в Приложении.

Если потребуется документ о повторной сертификации по шуму, то он выдается или ему придается сила государством регистрации воздушного судна на основе убедительных данных о том, что это воздушное судно отвечает требованиям, которые, по крайней мере, равноценны соответствующим Стандартам.

Документы, свидетельствующие о сертификации по шуму, утверждаются государством регистрации, и это государство требует, чтобы они находились на борту воздушного судна. Эти документы должны содержать в себе название, массу, уровень шума на различных этапах.

Договаривающееся государство приостанавливает или отменяет сертификацию по шуму воздушного судна, находящегося в его реестре, если это воздушное судно перестает отвечать применимым Стандартам по шуму. Государство регистрации не отменяет приостановку сертификации по шуму и не возобновляет сертификацию по шуму, за исключением случаев, когда при повторной оценке обнаруживается, что данное воздушное судно отвечает применимым Стандартам по шуму. Единицей оценки шума является эффективный уровень воспринимаемого шума в EPNдБ.

Также, при испытаниях, проводимых в соответствии с методикой летных испытаний, изложенной в п. 2.6 Приложения, самолет не превышает указанные в п. 2.4 уровни шума в следующих точках:

- в точке измерения шума сбоку от ВПП: точке на линии, параллельной осевой линии взлетно-посадочной полосы и удаленной от нее или ее продолжения на 650 м, в которой уровень шума при взлете является максимальным;

- в точке измерения пролетного шума: точке на продолжении осевой линии взлетно-посадочной полосы на расстоянии 6,5 км от начала разбега;

- в точке измерения шума при заходе на посадку: точке на земле на продолжении осевой линии взлетно-посадочной полосы, расстояние от которой до глиссады с углом наклона  $3^\circ$ , начинающейся на расстоянии 300 м

за порогом ВПП, составляет по вертикали 120 м (394 фут). На ровной местности это соответствует точке на расстоянии 2000 м от порога ВПП.

В 1972 году в Стокгольме состоялась Конференция Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей человека среды. В исторической справке Приложения 16 к Конвенции о международной гражданской авиации «Охрана окружающей среды», том II «Эмиссия авиационных двигателей» [11] отмечается, что позиция ИКАО на этой Конференции была изложена в резолюции А18-11 Ассамблеи, в которой, наряду с прочим, содержится следующее положение: «2. Выполняя свою роль, ИКАО осознает вредное воздействие на окружающую среду, которое может быть связано с эксплуатацией воздушных судов, а также свои обязанности и обязанность государств – членов ИКАО достичь максимальной совместимости между безопасным и планомерным развитием гражданской авиации и качеством окружающей человека среды».

На 18-й Ассамблее была также принята резолюция А18-12 относительно окружающей среды. Эта резолюция привела к учреждению программы действий ИКАО по вопросам окружающей среды. В рамках этой программы действий была создана исследовательская группа для оказания Секретариату помощи при выполнении отдельных задач, связанных с эмиссией авиационных двигателей. В результате деятельности этой исследовательской группы в 1977 году был опубликован циркуляр ИКАО, озаглавленный «*Нормирование эмиссии авиационных двигателей*» (циркуляр 134).

В этом циркуляре содержался инструктивный материал о методах сертификации для нормирования сброса топлива, эмиссии дыма и отдельных газообразных веществ для новых турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, предназначенных для эксплуатации на дозвуковых скоростях. Совет согласился с тем, что вопрос эмиссии авиационных двигателей не ограничивается лишь объективными техническими аспектами, а заслуживает рассмотрения экспертами во многих областях, а также представления непосредственных замечаний государствами – членами ИКАО. С учетом этого, в 1977 году был создан комитет Совета, названный Комитетом по эмиссии авиационных двигателей (САЕЕ), для проведения работы по ряду аспектов этого вопроса.

На 2-м заседании Комитета по эмиссии авиационных двигателей, состоявшемся в мае 1980 года, были разработаны предложения относительно материала для включения в одно из Приложений ИКАО. После внесения поправок, полученных в результате обычных консультаций с государствами –

членами Организации, предложенный материал был принят Советом в качестве текста настоящего документа. Совет согласился с целесообразностью включения всех положений, касающихся экологических аспектов деятельности авиации, в одно Приложение. Исходя из этого, Совет изменил название Приложения 16 на «Охрана окружающей среды», разделив его на том I под названием «Авиационный шум», куда вошел существовавший до этого текст, и том II под названием «Эмиссия авиационных двигателей».

Приложением 16 (том II) предусмотрено, что положение по выбросу топлива применимо ко всем воздушным судам с газотурбинными двигателями, занятыми в международной аэронавигации, которые изготовлены после 18 февраля 1982 года. Они конструируются и изготавливаются таким образом, чтобы предотвратить преднамеренный выброс в атмосферу жидкого топлива из соплового коллектора в процессе остановки двигателя по завершении нормального полета или операций на земле. Сертификация по эмиссии, которая прописана в документе, по форме может представлять собой отдельное удостоверение о сертификации по эмиссии или соответствующее указание в другом документе, утвержденном полномочным сертифицирующим органом.

Договаривающиеся государства признают действительной сертификацию по эмиссии, произведенную полномочным сертифицирующим органом другого Договаривающегося государства, при условии, что требования, в соответствии с которыми производилась сертификация, являются не менее строгими, чем положения, содержащиеся в томе II Приложения 16. При рассмотрении вопроса об исключениях полномочные сертифицирующие органы должны учитывать предполагаемое число двигателей, которые будут изготовлены, и их влияние на окружающую среду.

Когда делается такое исключение, полномочный сертифицирующий орган должен рассмотреть вопрос об ограничении по времени производства двигателей, предназначенных для установки на новом воздушном судне.

В целях сертификации двигателей воздушных судов осуществляется нормирование следующих видов эмиссии: дыма; газообразных веществ несгоревших углеводородов HC; окиси углерода CO; окислов азота NO<sub>2</sub>. При измерении эмиссии дыма результаты измерения выражаются и сообщаются через число дымности (SN). За стандартные атмосферные условия принимаются условия МСА на уровне моря, за исключением того, что стандартная абсолютная влажность принимается равной 0,006 34 кг воды/кг сухого воздуха.

Число дымности на любом из четырех эксплуатационных режимов тяги

цикла ЛТО, измеренное и вычисленное в соответствии с правилами, содержащимися в добавлении 2, или эквивалентными процедурами, утвержденными сертифицирующим органом, и приведенное к характерному уровню с помощью содержащихся в добавлении 6 правил, не превышает значений, определенных по формуле.

Для каждого типа двигателя, который подлежит сертификации по дыму или эмиссии газообразных веществ, представляется следующая информация:

- обозначение двигателя;
- расчетная тяга (в килоньютонах);
- исходная степень повышения давления;
- стандартные характеристики топлива;
- отношение количества водорода к количеству углерода в топливе;
- методы сбора данных;
- метод внесения поправок на окружающие условия;
- метод анализа данных.

По каждому испытываемому в целях сертификации двигателю предоставляется следующая производная информация:

- интенсивность эмиссии, т. е. индекс эмиссии, умноженный на расход топлива (граммы/секунда) для каждого газообразного загрязнителя;
- общий объем эмиссии каждого газообразного загрязнителя, замеренный по циклу ЛТО (в граммах);
- значение  $D_p / F_{00}$  для каждого газообразного загрязнителя (граммы/килоньютоны);
- максимальное число дымности. Характерные уровни эмиссии газообразных загрязнителей и число дымности предоставляются для каждого сертифицируемого типа двигателей.

Положения Конвенции о международной гражданской авиации нашли свое отражение в различных программах развития транспорта в России.

Перечнем мероприятий подпрограммы «Гражданская авиация» федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010–2021 годы)» [12] предусмотрено, что соответствие объектов современным экологическим требованиям достигается благодаря включению в проектную документацию соответствующего экологического раздела и обязательному контролю, осуществляемому в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

В целом реализация подпрограммы позволит обеспечить соответствие парка воздушных судов современным и перспективным экологическим

требованиям (по шумам и эмиссии вредных веществ, выделяемых авиадвигателями), что позволит на 30–50% улучшить экологические характеристики эксплуатируемого парка воздушных судов, повысить экологичность объектов инфраструктуры аэропортов за счет предусмотренного в 111 аэропортах в 2010–2021 годах строительства дренажных систем, отвечающих современным требованиям.

В 2008 году было принято Распоряжение правительства РФ от 22 ноября 2008 г. №1734-Р о Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г.[13], определяющее основные мероприятия по целям, задачам и этапам ее реализации на период до 2030 г. В мероприятиях, в части воздушного транспорта, учтены рекомендации Международной гражданской авиации.

Остановимся на некоторых целях и задачах стратегии, в которых определены направления по обеспечению экологической безопасности и выполнению экологических требований на воздушном транспорте.

Одной из целей является создание в рамках Единого экономического пространства системы статистического учета и информационного обеспечения в сфере воздушного транспорта, в части парка воздушных судов, объемных показателей деятельности, показателей безопасности полетов, экологической безопасности.

Для достижения цели «Снижение негативного воздействия транспортной системы на окружающую среду» определены основные направления и два периода: до 2020 года и с 2021 года до 2030 года. Рассмотрим некоторые направления подробнее.

Модернизация транспортных средств и объектов транспортной инфраструктуры, направленная на снижение их негативного воздействия на окружающую среду имеет своей целью:

- повышение экологических требований, предъявляемых к типу воздушного судна;
- введение с 2025 года ограничений на полеты в аэропорты России самолетов, удовлетворяющих по уровню авиационного шума требованиям Конвенции с запасом менее 5 EPNдБ;
- введение с 2019 года запрета на полеты в аэропорты России самолетов, не удовлетворяющих по уровню авиационного шума требованиям Приложения 16 к Конвенции;
- введение ограничений на импорт подержанных воздушных судов с большим сроком эксплуатации (более 20 лет), имеющих низкие показатели

экологического совершенства;

– содействие сертификации Авиационным регистром Межгосударственного авиационного комитета современных воздушных судов зарубежного производства, обладающих высокими показателями топливной эффективности.

В части вопросов повышения доли использования экологически чистых видов топлива, гибридных и электрических двигателей транспортных средств, материалов и технологий, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду до 2020 года можно выделить исследование по созданию авиационного биотоплива, технических проблем обеспечения доставки биотоплива в аэропорты и обеспечения заправки им воздушных судов; технической возможности использования перспективных сортов биотоплива на воздушных судах российского производства.

Важным является повышение энергоэффективности транспорта до уровня показателей передовых стран. В частности, введение стандарта по выбросам углекислого газа воздушными судами; разработка и внедрение современных эксплуатационных приемов снижения расхода топлива, а также других видов негативного воздействия воздушных судов на окружающую среду в полете и на земле.

Особо выделим направление обеспечения экологически безопасного обращения с отходами транспортного комплекса, предупреждение и сокращение их образования. Здесь акцентируется внимание на разработку и внедрение экологически безопасных технологий утилизации авиатехники; учет при проектировании и реконструкции аэродромной инфраструктуры требований к очистным сооружениям аэропортов, внедрение технологий повторного использования технических вод, применение современных технологий и способов сбора и утилизации мусора, утилизации противообледенительной жидкости.

Транспортной стратегией РФ до 2030 года также предусмотрено внедрение систем экологического менеджмента и управления качеством в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности на транспорте. Сюда входит, например:

– актуализация форм государственной статистической отчетности в сфере гражданской авиации по изменению климата, проблем контроля выбросов парниковых газов, а также других актуальных проблем контроля реализации транспортной стратегии (состояния рынка региональных перевозок, показателей использования парка грузовых самолетов и др.);

– разработка и внедрение системы сбора статистической информации об использовании парка воздушных судов авиации общего назначения и объемах расходуемого ими топлива, об объемах израсходованного топлива наземным транспортом, используемым для наземного передвижения в аэропортах;

– создание и систематическая актуализация базы данных по типовым значениям объемов сжигаемого топлива и выбросов парниковых газов различными типами самолетов на различных этапах полета для маршрутов различной протяженности, создание национальной базы таких коэффициентов выбросов парниковых газов при сжигании авиационных видов топлива и др.

Таким образом, необходимо отметить, что ВК РФ не содержит специальных статей и разделов, регулирующих обеспечение экологической безопасности, но требования экологической безопасности, в части выполнения нормативов воздействия на окружающую среду и экологические требования, содержатся в действующем воздушном законодательстве; положения Конвенции международной гражданской авиации отражены и в воздушном законодательстве и в транспортной стратегии РФ.

Вместе с тем, на основании вышеизложенного, считаем, что было бы целесообразно дополнить ВК РФ главой по обеспечению экологической безопасности, взяв за основу положения российского законодательства в сфере охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, положения Конвенции международной гражданской авиации и Модельного закона «Об экологической безопасности».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19 марта 1997 г. №60-ФЗ (в ред. 29.07.2017) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1997. – №12. – Ст. 1383.
2. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ (в ред. 29.07.2017 г.) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2002. – №2. – Ст. 133.
3. Модельный закон «Об экологической безопасности» (новая редакция) (принят постановлением Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ от 15 ноября 2003 г. N 22–18) // Информационный бюллетень Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ. – 2004. – N 33.
4. Об утверждении Федеральных авиационных правил «Технические

средства для выполнения авиационных работ. Требования и процедуры сертификации»: Приказ Минтранса РФ от 29 октября 2003 г. N 202 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2004. – №8.

5. Об утверждении Административного регламента Федерального агентства воздушного транспорта предоставления государственной услуги по организации и проведению обязательной сертификации аэродромов (кроме международных и категорированных), используемых в целях гражданской авиации: Приказ Министерства транспорта РФ от 11 февраля 2013 г. N 31 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2013. – № 34.
6. Об утверждении Положения о Комиссии Федерального агентства воздушного транспорта по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности и ее состава: Приказ Федерального агентства воздушного транспорта от 13 августа 2007 г. N 195 // Текст приказа официально опубликован не был. СПС ГАРАНТ-Классик. По состоянию на 22 ноября 2017 г.
7. Об утверждении Положения о государственной службе гражданской авиации Министерства транспорта Российской Федерации: Приказ Минтранса РФ от 6 марта 2003 г. N 20 // Текст приказа размещен на сайте Государственной службы Гражданской авиации Минтранса РФ в Internet (<http://www.gsga.ru>)
8. РД 152-001-94 «Экологические требования к предприятиям транспортно-дорожного комплекса». Утверждены Министерством транспорта РФ 20 мая 1994 г. Технорматив: Москва, 2007 г.
9. Об утверждении межгосударственного стандарта: Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июля 2014 г. N 821-ст // Текст приказа официально опубликован не был. СПС ГАРАНТ-Классик. По состоянию на 22 ноября 2017 г.
10. Приложение 16 Конвенции международной гражданской авиации. Охрана окружающей среды. Том I. Авиационный шум. Опубликовано отдельными изданиями на русском, английском, испанском и французском языках МЕЖДУНАРОДНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ. 999 University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7. Издание пятое, 2008.
11. Приложение 16 Конвенции международной гражданской авиации. Охрана окружающей среды. Том II. Эмиссия авиационных двигателей.

Опубликовано отдельными изданиями на русском, английском, испанском и французском языках МЕЖДУНАРОДНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ. 999 University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7. Издание третье, 2008.

12. О федеральной целевой программе «Модернизация транспортной системы России (2010–2021 годы)»: Постановление Правительства РФ от 5 декабря 2001 г. N 848 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2001. – N 51. – Ст. 4895.
13. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. N 1734–р // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. – № 52. – часть II.

УДК 658.5, 656.7

## **SUKHOI SUPERJET-100: РОССИЙСКИЙ САМОЛЁТ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

**Сысоева Е. В.**

**Немчинов О. А.**

*(научный руководитель)*

*Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С. П. Королёва  
(г. Самара)*

В статье рассмотрены особенности организации производственного процесса современного отечественного воздушного судна Sukhoi Superjet 100. Отмечены участники кооперации, как отечественные, так и зарубежные, при проектировании и создании авиалайнера. Проанализированы основные летно-технические характеристики самолета, определены основные эксплуатанты, сегменты и маршруты эксплуатации. В ходе исследования выделены особенности, актуализирующие применение узлов и агрегатов иностранного производства при создании SSJ-100.

*Ключевые слова:* Sukhoi Superjet 100, SSJ-100, воздушное судно, производственная кооперация, летно-технические характеристики, эксплуатант, авиакомпания, маршрутная сеть.

Пассажирский самолёт Сухой Суперджет-100 (Sukhoi Superjet-100, ранее название RRJ – Russian Regional Jet) – первый самолёт, разработанный в России после распада СССР и первый российский пассажирский самолёт,

разработанный с использованием цифровых безбумажных технологий. Разработчиком и производителем самолёта является компания «Гражданские самолёты Сухого», подразделение авиастроительного концерна «Сухой».

Дата начала разработки «Сухого Суперджет 100» – 11 марта 2003 года. Разработка самолёта завершилась к началу 2006 года, а уже в феврале того же года началась сборка первого самолёта с номером 97002. Меньше чем через год, в начале 2007 года, начались статические испытания первого самолёта в ЦАГИ. 26 сентября 2007 года состоялась презентация самолёта.

Испытания самолёта, а также его производство, начались в 2008 году. Так, уже 20 февраля того же года была осуществлена первая гонка двигателей «Сухого Суперджет 100», которая дала положительные результаты. 14 мая были проведены испытания на предмет пробежки и рулёжки на взлётно-посадочной полосе, а 19 мая самолёт произвёл свой первый полёт. В октябре 2008 года заводские испытания самолёта были полностью завершены и начался процесс сертификации «Суперджета» в Международном авиационном комитете. В ноябре того же года начались ресурсные испытания самолёта. В июне 2009 года самолёт был представлен и принял участие в международном авиасалоне в Ле-Бурже. Стоимость производства единицы на 2016 год «Сухого Суперджет 100» составляет 27 миллионов долларов США [1].

Производство воздушного судна предполагает широкую кооперацию: часть работ выполняется в Новосибирске, окраска и установка салона – на 3 площадках, в зависимости от заказчика (Ульяновский Спектр Авиа, Чехия, Италия), основная сборка – на заводе в Комсомольске-на-Амуре (КнААПО). Поставляются системы со всего мира (выбор иностранных производителей компонент был сделан в связи с необходимостью сертификации по EASA/FAA и с ограничением по срокам разработки самолёта – российским компаниям понадобилось бы дополнительно несколько лет, чтобы сделать авионику соответствующего уровня).

Освоение производства было, возможно, более трудным, чем проектирование. Таких технологий, цепочек кооперации и компетенций ни в России, ни в СССР не существовало. Это сопоставимо с постановкой на производство Ли-2 в тридцатые годы прошлого века, которое дало авиапрому СССР шаблонно-плазовый метод. Суперджет дал цифровой метод. Он и проектируется, и производится «в цифре», что даёт уменьшение погрешностей в десять, а иногда и более раз. Более того, детали автоматически контролируются после выхода из станков.





Таблица 2 – Эксплуатанты самолёта SSJ-100

Авиакомпания	Страна	Количество самолётов в эксплуатации
Аэрофлот – Российские авиалинии	РФ	33
Interjet	Мексика	21
Газпром авиа	РФ	10
ИрАэро	РФ	8
Ямал	РФ	8
CityJet	Ирландия	6
Якутия	РФ	5
Азимут	РФ	4
МЧС	РФ	2
Таиланд	Таиланд	2
СЛО «Россия»	РФ	2
МВД	РФ	1
Colmix	Швейцария	1
ПС КНБ РК	Казахстан	1
РусДжет	РФ	1

Помимо вышеперечисленных стран, бельгийская авиакомпания «Brussels Airlines» эксплуатирует 4 самолёта SSJ-100 в лизинге от «CityJet» (Ирландия) [3].

Рассмотрим более подробно конструктивные особенности воздушного судна Sukhoi Superjet-100. Часто заявляется, что самолёт на 80% сделан из импортных запчастей. Основные поставщики компонентов самолёта представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Основные поставщики узлов и агрегатов SSJ-100

Комплекующие SSJ-100	Страна-производитель
Авионика	Thales, Франция
Противопожарная система	Autronics, США
Кресла экипажа	IPECO, Великобритания
Система управления	Liebherr, Германия
Шасси	Messier Dowty, Франция
Колёса, тормоза	Goodrich, США
Датчики вибрации двигателя	Vibro-meter, Швейцария
Кислородная система	V/E aerospace, США
Интерьер	V/E aerospace, США

Комплектующие SSJ-100	Страна-производитель
Системы жизнеобеспечения	Liebherr, Германия
Гидравлическая система	Parker, США
Система электроснабжения	Hamilton Sundstrand, США
Топливная система	Intertechinque (ZODIAC), Франция

Однако, согласно официальной документации, во 2 квартале 2011 года доля импорта в поставках материалов и товаров составила 53,32% [4, с. 26].

Тем не менее, существует объективная необходимость для оснащения самолёта значительным количеством импортных деталей, вытекающая из условий эксплуатации. Так как конечный потребитель данного продукта – авиакомпания, то именно она должна быть непосредственно заинтересована в приобретении для своих нужд данного самолёта. Для авиакомпаний важна не только надёжность самолёта, но и возможность и оперативность ремонта в любом аэропорту мира, где самолёт на данный момент находится. Именно поэтому на самолет установлено то оборудование, которое распространено во всем мире, то есть запчасти на него есть в любом аэропорту. Кроме того, есть техники, которые умеют это оборудование ремонтировать. Каждый час простоя – это огромные убытки для авиакомпании, и неоправданный риск для них не выгоден.

Самолёт может быть успешен только в том случае, если он будет экспортироваться по всему миру. Только на мировом рынке есть возможность окупить затраты на его производство. Именно в этом и состояла главная задача при разработке воздушного судна [5].

Однако следует отметить один важный момент. Многие из перечисленных в табл. 3 комплектующих SSJ-100 признаны «чисто импортными» лишь номинально, на деле же в их производстве задействованы и российские заводы-изготовители:

- двигатели собираются в Рыбинске, но головная компания зарегистрирована во Франции;

- систему кондиционирования собирает нижегородское предприятие «Теплообменник», но официально за всю систему кондиционирования воздуха в целом отвечает фирма «Liebherr»;

- узлы для топливной системы частично собираются в Санкт-Петербурге, а «Зодиак» (Франция) – ставя свое клеймо, гарантирует качество и соответствие стандартам;

– поставщик звеньев подкосов для шасси – «Гидромаш», фирма «Messier – Dowty» (Франция) является поставщиком шасси в комплексе, как системы, отвечает за все входящие в неё системы и агрегаты [6].

В качестве вывода отметим, что одним из главных преимуществ воздушного судна SSJ-100 является использование в его проектировании новейших технологий и конструкторских решений, которые серьёзно повлияли на его эффективность и надёжность. Также следует отметить, что при разработке «Суперджета» принимались во внимание и анализировались все пожелания потенциальных его заказчиков и эксплуатантов (причём, не только российских, но и зарубежных), что позволило максимально приспособить его к будущим условиям эксплуатации. Таким образом, «Сухой Суперджет 100» – действительно шаг к пассажирским самолётам нового поколения по экономичности, безопасности и лётно-техническим характеристикам, что делает его одним из лучших в своём классе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. «Сухой Суперджет 100»: обзор и технические характеристики самолета [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://militaryarms.ru/passazhirskie-samolety/suhoj-superjet-100/> (дата обращения 29.11.2017). – Загл. с экрана.
2. Суперджет (SSJ-100): реальность против домыслов. Куда летают Суперджеты [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://superjet.wikidot.com/wiki: routes](http://superjet.wikidot.com/wiki:routes) (дата обращения 29.11.2017). – Загл. с экрана.
3. Суперджет (SSJ-100): реальность против домыслов. Список компаний-эксплуатантов [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://superjet.wikidot.com/ plane-operation-stat](http://superjet.wikidot.com/plane-operation-stat) (дата обращения 29.11.2017). – Загл. с экрана.
4. Ежеквартальный отчет ЗАО «Гражданские самолеты Сухого» (за 2 квартал 2011 г.) [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ir.superjet100.com/assets/files/library/information\\_disclosure/quarterly\\_reports/2011/Report2Q2011.pdf](http://ir.superjet100.com/assets/files/library/information_disclosure/quarterly_reports/2011/Report2Q2011.pdf) (дата обращения 29.11.2017). – Загл. с экрана.
5. Мифы про Сухой Суперджет 100 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nnm.me/blogs/assa89/mify-sukhoi-superjet-100/> (дата обращения 29.11.2017). – Загл. с экрана.

6. Суперджет (SSJ-100): реальность против домыслов. На сколько же процентов Суперджет российский? Изучаем отчеты ГСС [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://superjet.wikidot.com/wiki:v-ssj-80-importnyh-komplektuusih#toc6> (дата обращения 29.11.2017). – Загл. с экрана.

УДК 656.7.025

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

**Московых Ю. С.**

**Золоторёва А. И.**

*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*

*Московского государственного технического университета*

*гражданской авиации*

*(г. Иркутск)*

В статье представлена информация о современных тенденциях в развитии гражданской авиации. Рассмотрены мировые и Российские достижения в авиастроении. Также предоставлена перспектива развития рынка гражданской авиации.

*Ключевые слова:* воздушный транспорт, летательные аппараты, беспилотные летательные аппараты, авиастроение.

Авиации принадлежит значительная роль в решении широкого спектра жизненно важных задач, отвечающих государственным интересам Российской Федерации. Именно авиационная деятельность во многом способствует росту промышленно-экономического потенциала страны, развитию научной, культурной и социальной сфер и, конечно, сдерживанию угрозы безопасности государства.

Роль воздушного транспорта в России невозможно переоценить. Ведь в таких регионах, как Европейский Север, Сибирь, северо-восточная и островная часть Дальнего Востока, авиация была и долго еще останется единственным магистральным видом транспорта, обеспечивающим связь с остальной территорией России. На долю воздушного транспорта приходится более 40% общего пассажирооборота в междугороднем и международном

сообщении. Если же рассматривать только международные пассажирские перевозки, то здесь на долю авиации приходится 80% [2].

Главным фактором обеспечения эффективного развития авиастроения является целенаправленная государственная поддержка. Инструментом реализации такой поддержки и регулирования развития гражданского авиастроения стали федеральные целевые программы (ФЦП) «Развитие гражданской авиационной техники России». Целью новой редакции Программы является принципиальное изменение стратегической конкурентной позиции гражданского сектора российской авиапромышленности на мировом рынке (включая рынок России и СНГ), фактическое возвращение отрасли на авиарынок в качестве одного из ключевых игроков. Программа ставит амбициозную задачу завоевать к 2025 году не менее 10% мирового рынка продаж гражданской авиатехники [2].

В содержание Программы введено такое понятие, как целевые индикаторы. К ним относятся объёмы продаж финальной продукции, продажи в рамках кооперационных проектов, объёмы услуг в системе послепродажного обслуживания, количество патентов и объёмы коммерческих сделок по экспорту технологий. Важнейшим целевым индикатором станет объём продаж самолётов (в единицах).

Достижение такого результата на остро конкурентном и жёстко регулируемом рынке гражданской авиатехники требует не только создания новых конкурентоспособных продуктов, но также проведения маркетинга и послепродажного обеспечения на качественно новом уровне.

Важное условие эффективной реализации действующей Программы – конкурсный принцип отбора предложений на проведение работ в её рамках.

Также хотелось бы уделить внимание успехам Российского авиастроения, достигнутым за последние годы. Вначале хочется сказать несколько слов о программе создания семейства ближнемагистральных самолетов Sukhoi Superjet (SSJ). SSJ-100 – это 100-местный самолет нового поколения, разработанный и производимый компанией ЗАО «Гражданские самолеты Сухого» [3].

Программа по созданию самолета SSJ-100 является первым проектом в отечественном самолетостроении, который осуществляется в широкой международной кооперации с ведущими мировыми производителями.

В производстве самолета применяются ранее не использовавшиеся в отечественном самолетостроении технологии, такие как бесстапельная

сборка, автоматическая стыковка агрегатов планера, автоматическая клепка и целый ряд других.

Двигатель для самолета SSJ-100 – SAM-146 – был создан и производится НПО «Сатурн» (Россия) совместно с французской компанией Snecma.

В качестве одного из ключевых проектов в гражданском авиастроении нельзя не отметить MC-21. В конструкции MC-21 также было использовано преимущество международной кооперации. Однако общая доля российских комплектующих в проекте MC-21 значительно больше, по сравнению с самолетом SSJ-100 [3].

В этом проекте заложен целый ряд новых и впервые апробируемых решений и технологий: композитные крылья, бесстапельная сборка, двигатели нового поколения, новая концепция пассажирского салона и т. д.

В настоящее время мировая авиаиндустрия находится лишь в начале перехода от металлических конструкций к новому типу конструктивных решений, создаваемых на основе композиционных материалов. Также график показывает, что металлические конструкции, пройдя путь 60-летней эволюции, по существу, достигли максимума своей эффективности, поскольку рост технических характеристик конструкций из существующих металлических дюралевых сплавов существенно замедлился.

Дальнейшее повышение транспортной эффективности, как за рубежом, так и в России связывают, главным образом, с внедрением в силовую конструкцию планера новых волокнистых композиционных материалов с высокими удельными прочностными характеристиками.

Дальнейшее развитие конструкции будущих летательных аппаратов ведущие ученые и конструкторы связывают, прежде всего, с так называемыми «про-композитными» или «гибридными» конструктивно-силовыми схемами.

Помимо этого, важнейшим направлением развития российского и мирового авиастроения является совершенствование систем управления летательными аппаратами. В качестве ключевых направлений развития этих систем ведущие российские и иностранные специалисты в настоящее время выделяют:

- внедрение систем искусственного интеллекта в систему управления ЛА;
- создание «полностью электрического» самолета (ПЭС);
- переход к новой системе управления и организации воздушного движения.

Перед российской авиационной промышленностью стоит сложнейшая задача – преодолеть имеющееся отставание в уровне технологий, сформировать новое поколение специалистов мирового уровня в области разработки, проектирования, испытаний, поддержки заказчика, обслуживания и ремонта, маркетинга и продаж.

Хотелось бы обратить внимание на последние мировые достижения в области военного самолётостроения.

К важнейшим направлениям развития технологий в военном авиастроении относятся разработки сверхзвуковых и гиперзвуковых летательных аппаратов (ЛА), технологии Stealth, беспилотные ЛА, самолеты четвертого и пятого поколений. Рассмотрим каждое из них более подробно. Комплексная технология снижения всех видов заметности средств воздушного нападения, получившая название Stealth, входит в перечень 17 приоритетных направлений развития аэрокосмических систем США, которые, как предполагается, существенно повлияют на облик летательных аппаратов будущего. В рамках Stealth в настоящее время уже созданы или разрабатываются такие летательные аппараты, как ударный истребитель F-117В, многоцелевые тактические истребители F-22 и F-35, стратегический бомбардировщик В-2, боевые беспилотные ЛА Х-47А и Х-45А, ударный вертолет RAH-66 [1]. Новейшие решения, примененные в их конструкциях с использованием данной технологии, позволили снизить заметность машин в радиолокационном, инфракрасном, оптическом и акустическом диапазонах радиоволн. Следует отметить, что в ответ на совершенствование Stealth не менее быстрыми темпами разрабатываются столь же сложные и инновационные контртехнологии, сводящие к нулю ее преимущества. Аналогичные разработки ведутся в Великобритании, Франции, Германии и других странах, которые ориентированы на военно-техническое лидерство.

Другое перспективное направление развития авиационной техники – беспилотные летательные аппараты (БЛА). К ним относятся, прежде всего, беспилотные самолеты и беспилотные летательные аппараты вертикального взлета и посадки. В последнее десятилетие значительно возросла их актуальность и активно разрабатываются различные концепции ЛА подобного типа. В этом направлении отмечается колоссальный потенциал, способный определить контуры авиации будущего. Беспилотные летательные аппараты имеют различные конфигурации, лётно-тактические, геометрические и массовые характеристики, а также различаются по типам и параметрам двигателей и целевой аппаратуры. Пока что беспилотные летательные аппараты

находят свое применение преимущественно в военной сфере, однако их использование в гражданском секторе имеет особую актуальность для России, прежде всего в целях мониторинга протяженной инфраструктуры транспорта, энергоснабжения и связи.

Последняя разработка израильских специалистов носит название «Солнечный мореплаватель». Масса аппарата всего 4 кг, работает он от солнечных батарей и может находиться в полете достаточно продолжительное время. В Израиле разработали и концепцию беспилотного пассажирского самолета, но мир еще не готов к таким решениям. Компания Boeing провела опрос, который выявил, что 70% респондентов не согласны пользоваться самолетами-беспилотниками.

В мире реализуется порядка 300 проектов разведывательных и разведывательно-ударных БЛА [1]. Они имеют ряд существенных преимуществ перед пилотируемыми аппаратами, таких как: возможность полета на предельно малых высотах, в складках местности, применение активных и пассивных помех, высочайшая маневренность, снижение радиозаметности, уровня инфракрасного излучения и акустического шума. Все это позволяет беспилотникам успешно преодолевать зону действия ПВО.

Беспилотные летательные аппараты также используются для борьбы с различными средствами воздушного нападения. Здесь они выступают в роли «контртехнологий». Оснащенные радиолокационными средствами, БЛА способны обнаружить низколетящие цели, недоступные для обнаружения обычными радиолокационными установками.

Одно из новых интересных направлений развития беспилотных аппаратов – миниатюрные летающие роботы. К их достоинствам относится прежде всего то, что во время полета они практически недостижимы для систем ПВО противника.

Мировой рынок гражданской авиации имеет достаточно высокие перспективы развития в ближайшие 20 лет. По прогнозам экспертов Boeing, объем рынка новых гражданских самолетов в обозначенный период составит 2.6 трлн долларов [2]. Усиление конкуренции на рынке приведет к росту объема авиаперевозок. Сохранится высокий спрос на новые гражданские самолеты. Пониженный расход топлива и увеличенная дальность полета создадут возможность связать беспосадочными маршрутами аэропорты по всему миру. Ожидается, что новые лайнеры со сниженным уровнем шума и выбросов полностью изменят облик мирового авиапарка. На трансконтинентальных маршрутах будут преобладать широкофюзеляжные

самолеты, способные реализовать рациональные частоту и количество беспосадочных рейсов. Большую часть парка самолетов составят узкофюзеляжные лайнеры, которые позволят авиакомпаниям выполнять больше беспосадочных рейсов на внутренних направлениях и международных маршрутах малой протяженности. Тенденции роста объема авиаперевозок, потребности рынка в ближайшие два десятилетия будут практически полностью обеспечиваться за счет узко- и широкофюзеляжных самолетов вместимостью от 100 до 400 пассажиров [2]. Крупнейшим рынком гражданской авиатехники в период до 2025 г. станут страны Азиатско-Тихоокеанского региона [2].

В заключение к вышенаписанному материалу хочется сказать, что все достижения в гражданской авиации невозможно достичь без новых поколений инженеров, ученых, конструкторов. Также стоит заметить, что авиация занимает важную роль в мире, и именно поэтому она развивается и внедряет новые технологии в своё развитие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бойкова, М. В. Авиация будущего [текст] / М. В. Бойкова, С. Д. Гаврилов, Н. А. Гавриличева. – М.: Транспорт, 2009 г. – 15 с.
2. Aviation Explorer [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aex.ru/> (дата обращения 30.11.2017). – Загл. с экрана.
3. Авиация России [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aviation21.ru/> (дата обращения 30.11.2017). – Загл. с экрана.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАЗЕМНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ АВИАЦИОННЫХ ПЕРЕВОЗОК

**Радаева Ю. А.**

*radaeva.yuliya@mail.ru*

**Кропивенцева С. А.**

*(научный руководитель)*

*Самарский национальный исследовательский университет*

*им. академика С. П. Королёва*

*(г. Самара)*

Целью исследования является рассмотрение технологии обработки груза в грузовом комплексе аэропорта, а также поиск пути сокращения времени обработки грузов.

Актуальность исследования заключается в нахождении путей сокращения времени наземного обслуживания груза. Научная новизна: представление технологии обслуживания грузов в аэропорту в виде событие-работа (метод критического пути) и определение резервов времени; рассмотрение нестандартных ситуаций при обслуживании грузов и выявление резервов времени, визуализация графа и критического пути с помощью программы, написанной в VBA Excel. Основные результаты: формализация (граф, критический путь, резервы времени) трех возможных вариантов обслуживания грузов в аэропорту: стандартная технология; формализация процесса обслуживания грузов при превышении коммерческой загрузки на рейсе; формализация процесса обслуживания грузов при повреждении груза в процессе доставки груза к самолету.

*Ключевые слова:* грузовые авиаперевозки, метод критического пути, наземное обслуживание, резерв времени, склад отправления, сбойная ситуация, сетевой график, технология обработки груза, технологический график.

Наземное обслуживание рейсов является ключевым пунктом в организации авиационных перевозок. Особенность данного вида деятельности заключается в том, что с наземным обслуживанием сталкиваются все субъекты авиатранспортной отрасли (аэропорт, авиакомпании, пассажиры и т.д.). В аэропорту осуществляются работы по обслуживанию и регистрации пассажиров и багажа, по обеспечению рейса бортипитанием, по предполётному и послеполётному обслуживанию воздушных судов, а также организация и обслуживание грузовых перевозок.

Своевременное и качественное наземное обслуживание влияет на безопасность воздушного движения, регулярность рейсов в соответствии с расписанием, себестоимостью перевозки, комфортом пассажиров, грузоотправителей и грузополучателей [1].

Немаловажным фактором качества наземного обслуживания является длительность наземного обслуживания. Сокращение времени наземного обслуживания позволяет увеличить скоростной эффект воздушной перевозки.

Объектом исследования выбран процесс наземного обслуживания авиагрузовых перевозок и пути сокращения времени обработки груза. В работе рассмотрена технология обработки груза на грузовом складе и перроне, составление провозной документации, а также работы службы ПДСА по расчёту центровки и оформлению сводной загрузочной ведомости. Для исследования процесса обслуживания отправляемых грузов целесообразно построить сетевую модель и с помощью метода критического пути оценить совокупность работ, которые влияют на длительность и показатели качества обслуживания.

Метод сетевого планирования заключается в рассмотрении процесса наземного обслуживания в виде совокупности отдельных операций. Анализ временных параметров работ позволяет получить сроки, необходимые на наземное обслуживание грузовых перевозок в целом, определить работы на критическом пути, определить резервы времени.

Для того чтобы провести исследование посредством метода критического пути необходимо установить перечень работ, из которых состоит процесс наземного обслуживания; замерить время операций; провести связь между операциями, составить сетевой график; расчётным путём определить операции, составляющие критический путь, и резервы времени [2].

В ходе исследования были рассмотрены три сценария наземного обслуживания в грузовом комплексе аэропорта:

1. Нормальный режим работы.
2. Превышение коммерческой загрузки рейса.
3. Повреждение целостности упаковки в процессе транспортировки груза от склада до ВС.

Нормальный режим работы – это режим, при котором наземное обслуживание осуществляется без сбойных ситуаций. Перечень работ, относящихся к нормальному режиму, а также резервы времени отдельных операций представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Резервы времени по наземному обслуживанию отправки груза

Работа	i	j	Обозначение	t, мин	Суммарный резерв $TF_{ij}$ , мин	Свободный резерв $FF_{ij}$ , мин	Независимый резерв $IF_{ij}$ , мин	Гарантированный резерв $S_{ij}$ , мин
Досмотр, комплектование и сортировка	1	4	A	25	5	5	5	5
Погрузка на ТС и доставка к ВС	4	7	B	20	0	0	0	0
Погрузка в ВС	7	8	C	20	0	0	0	0
Оформление ПГВ	4	6	D	10	5	10	10	5
Передача ПГВ на рейс	6	7	E	5	5	0	0	0
Получение предварительных данных по коммерческой загрузке	1	2	F	5	0	0	0	0
Предварительный расчёт центровки	2	3	G	20	0	0	0	0
Передача данных о предварительной загрузке в СОПП	3	4	H	5	0	0	0	0
Получение фактических данных по коммерческой загрузке	3	5	I	5	30	0	0	30
Формирование и передача СЗВ	5	8	J	10	30	30	0	0

Стоит отметить, что на практике, при планировании сроков, ценность имеет гарантированный резерв времени, так как он показывает максимальное время задержки операции, которая не влияет на срок завершения процесса, если все предыдущие операции были осуществлены с задержкой.

Работы, принадлежащие к критическому пути, имеют нулевые резервы времени, следовательно, требуют особого внимания.

Для наглядности на рис.1 представлен сетевой график наземного обслуживания при нормальном режиме. На графе выделен критический путь, он включает работы F, G, H, B, C.

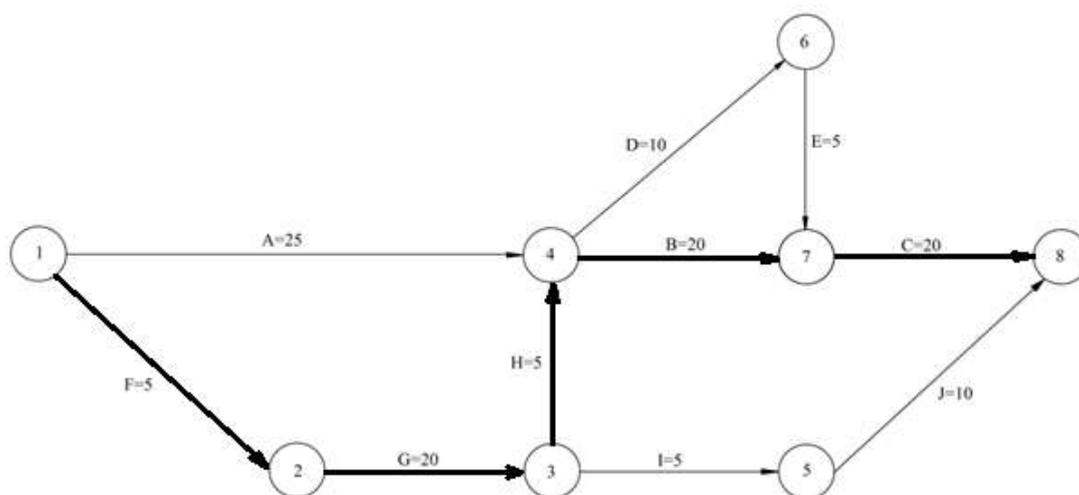


Рисунок 1 – Сетевой график наземного обслуживания при нормальном режиме работы

Длительность наземной подготовки грузов к отправке составляет 70 минут и состоит из следующих работ: получение предварительных данных по коммерческой загрузке, предварительный расчёт центровки, передача данных о предварительной загрузке в СОПП, погрузка груза на транспортное средство и доставка к ВС.

Далее рассмотрена ситуация, когда была превышена предельная коммерческая загрузка рейса. Такая ситуация может произойти в результате того, что на рейс остались непроданные билеты, и в «последнюю минуту» было принято решение о допродаже билетов на рейс.

Для того чтобы устранить нарушение центровки необходимо, чтобы диспетчер СОПП передал диспетчеру ПДСА информацию о конечном количестве проданных билетов; далее диспетчер по центровке составляет новые сводно-загрузочную ведомость и центровочный график; грузовые места, снятые с рейса, вычёркиваются из почтово-грузовой ведомости.

Перечень работ и резервы времени, при превышении коммерческой загрузки рейса, представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Перечень работ при превышении предельной коммерческой загрузки

Работа	i	j	Обозначение	t, мин	Суммарный резерв TF <sub>ij</sub> , мин	Свободный резерв FF <sub>ij</sub> , мин	Независимый резерв IF <sub>ij</sub> , мин	Гарантированный резерв S <sub>ij</sub> , мин
Досмотр, комплектование и сортировка	1	4	A	25	5	5	5	5
Погрузка на ТС и доставка к ВС	4	6	B	20	0	0	0	0
Погрузка в ВС	6	9	C	15	0	0	0	0
Снятие груза	9	10	N	5	10	10	10	10
Оформление ПГВ	4	5	E	10	5	0	0	5
Передача ПГВ на рейс	5	6	F	5	5	5	0	0
Получение предварительных данных по коммерческой загрузке	1	2	G	5	0	0	0	0
Предварительный расчёт центровки	2	3	H	20	0	0	0	0
Передача данных о предварительной загрузке в СОПП	3	4	I	5	0	0	0	0
Получение фактических данных по коммерческой загрузке	3	7	J	5	10	0	0	10
Окончательный расчёт центровки	7	8	K	20	10	0	0	0
Дана команда «Снять груз»	8	9	L	5	10	10	0	0
Формирование и передача СЗВ	8	10	M	10	20	20	10	10
Переоформление ПГВ	9	10	N	10	0	0	0	0
Передача ПГВ на борт	10	11	D	5	0	0	0	0

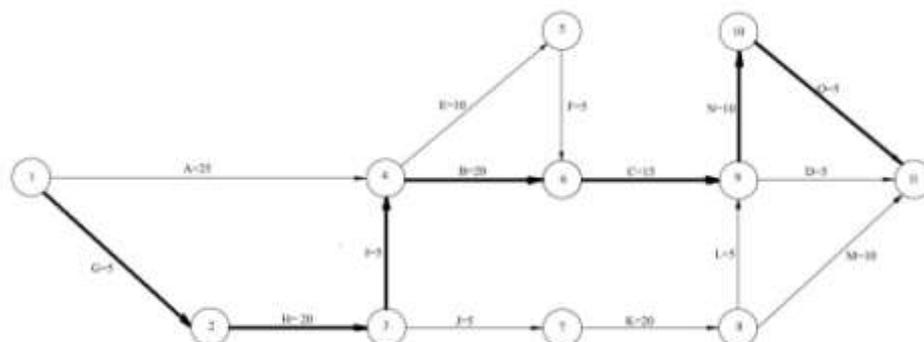


Рисунок 2 – Сетевой график наземного обслуживания при превышении предельной коммерческой нагрузки

На рис. 2 изображён сетевой график наземного обслуживания при превышении предельной коммерческой загрузки, критический путь составляют работы G, H, I, V, C, N, O. Обслуживание отправляемых грузов в случае превышения коммерческой загрузки на рейсе длится 80 минут, в течение которых выполняются операции: получение предварительных данных по коммерческой загрузке; предварительный расчёт центровки; передача данных о предварительной загрузке в СОПГП; доставка груза к ВС; погрузка груза в ВС; переоформление ПГВ; передача ПГВ на борт.

Далее было рассмотрено нарушение целостности упаковки в процессе транспортировки груза до ВС. Данная ситуация может произойти в результате того, что груз на транспортировщике был закреплен недостаточно надежно.

Для того чтобы устранить неисправность, дополнительно к работам, применяемым в нормальном режиме, добавляются работы по информированию диспетчера ПДСА о снятии поврежденного груза, расчет нового центровочного графика, исправление данных ПГВ.

Критический путь был рассчитан с помощью программы Microsoft Excel, с помощью языка и среды программирования VBA, также в данной среде был составлен сетевой график наземного обслуживания. Сетевой график показан на рис. 3. На рис. 4 изображен критический путь наземного обслуживания при нарушении целостности упаковки в процессе транспортировки.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что критический путь составил 70 минут и состоит из следующих операций: получение предварительных данных по коммерческой загрузке, предварительный расчёт центровки, передача данных о предварительной загрузке в СОПГП, транспортировка груза до наступления сбойной ситуации, передача в ПДСА информации о том, что часть груза снята с рейса, расчёт окончательной центровки, передача сводной загрузочной ведомости на рейс.

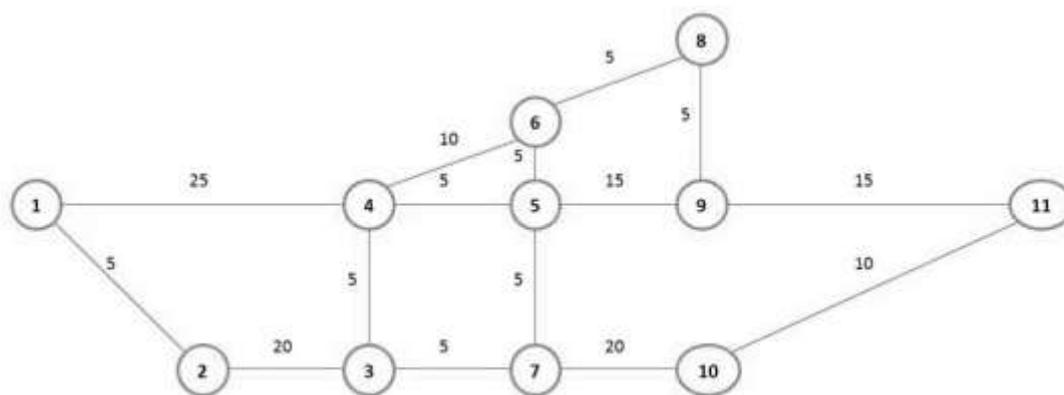


Рисунок 3 – Сетевой график наземного обслуживания рейса при нарушении целостности упаковки груза в процессе транспортировки

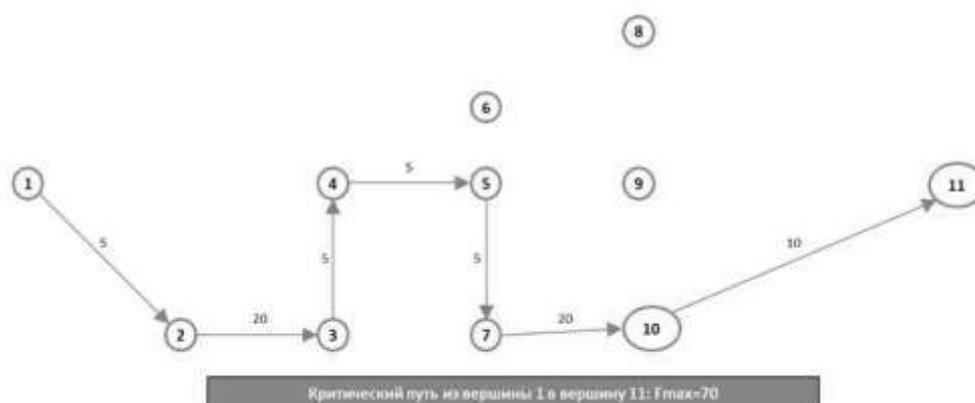


Рисунок 4 – Критический путь при нарушении целостности упаковки груза в процессе транспортировки

Подводя итоги расчётов по трём сценариям обработки грузов, можно сделать вывод, что работам по получению предварительной информации о коммерческой загрузке, предварительному расчету центровки, доставке и погрузке груза в ВС, составлению и передаче перевозочной документации необходимо уделять внимание, так как от них зависит длительность критического пути.

Совершенствование технологии предполётной подготовки грузов заключается в нахождении способов для ускорения выполнения работ, составляющих критический путь.

Сокращения времени наземного обслуживания в грузовом терминале можно добиться за счёт автоматизации складских процессов, а именно:

1. Внедрение безбумажного электронного обмена документами. Актуальность введения этого стандарта заключается в стремлении

авиакомпаний снизить затраты на авиаперевозку за счёт ускорения оборота ВС, за счёт сокращения персонала, занятого оформлением бумажных документов [3].

2. Применение роботизированных укладчиков паллет «Паллетайзеры». Использование автоматизированных систем в несколько эффективнее показателей человеческого труда. Различные роботы-укладчики европейского производства способны выполнять до 500 циклов в час [4].

3. Идентификация грузов с помощью RFID метода. Данный метод заключается в считывании данных о грузе посредством радиосигналов с RFID-меток, прикрепленных к грузовому месту. Благодаря внедрению этой технологии на склад время учета партии груза сократится до нескольких секунд; станет возможным отслеживание груза в режиме реального времени [5].

Улучшение процесса наземного обслуживания затрагивает не только изменение технологии обслуживания, но и сокращение длительности работ. Задача оптимального распределения ресурсов при изменении длительности выполнения работ с учётом дополнительных работ по устранению факторов задержки вылета рейса является актуальной. И первым этапом решения поставленной задачи является построение совокупности моделей обслуживания отправляемых грузов с учётом всех возможных нестандартных ситуаций, возникающих в ходе подготовки грузов к отправке, так как для устранения факторов задержки вылета рейса по расписанию выполняется комплекс дополнительных работ, которые влияют на длительность процесса наземного обслуживания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Наземное обслуживание [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.aviagroup.aero/nazemnoe\\_obslygivanie.html](http://www.aviagroup.aero/nazemnoe_obslygivanie.html) (дата обращения 23.11.2017). – Загл. с экрана
2. Филлипс, Д. Методы анализа сетей [текст] / А. Гарсиа–Диас, Д. Филлипс. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
3. Внедрение стандарта e-freight в российской авиации: опыт, результаты и перспективы развития [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-standarta-e-freight-v-rossiyskoy-aviatsii-opyt-rezultaty-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения 23.11.2017). – Загл. с экрана

4. Паллетайзеры (укладчики паллет) [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://merpasa.ru/catalog/automat/palletizer/> (дата обращения 23.11.2017). – Загл. с экрана
5. RFID-технология. Все о радиочастотной идентификации [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rst-invent.ru/about/technology/> (дата обращения 23.11.2017). – Загл. с экрана
6. Русинов, И. Я. Организация воздушных перевозок [текст] / И. Я. Русинов, Л. А. Цеханович, В. А. Подшипников – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.

УДК 65.656.71

## К ВОПРОСУ О БАНКРОТСТВЕ АВИАПЕРЕВОЗЧИКОВ

**Немцев А. Г.**

*sarg26stv@mail.ru*

**Вишнякова А. А.**

*(научный руководитель)*

*Иркутский филиал*

*Московского государственного технического университета*

*гражданской авиации*

*(г. Иркутск)*

В статье рассмотрены возможные причины, приведшие крупнейшие российские авиакомпании к банкротству. Обзор причин несостоятельности дан на основе сравнения двух российских авиакомпаний, из списка обанкротившихся предприятий в сфере авиаперевозок – «Трансаэро» и «ВИМ-АВИА».

*Ключевые слова:* банкротство, авиакомпания, эксплуатант, авиапарк, авиаперевозка, маршрутная сеть, чартер, туроператор.

Зафиксированная судом несостоятельность должников, а именно Российских авиакомпаний, за последние 8 лет, позволяет систематизировать причины их возникновения. Для начала стоит вспомнить авиакомпании и время банкротства.

«Крас Эйр» – долг поставщикам топлива \$1 млрд банкрот с июля 2009 года.

«КД Авиа» – общие долги 12 млрд руб., банкрот с ноября 2010 года.

«Авионова» – тяжелое финансовое положение, банкрот с апреля 2012 года.

Авиакомпания «Кубань» – в декабре 2012 года объявила себя банкротом, прокуратура нашла признаки преднамеренного банкротства.

«Московиа» по ходатайству временного управляющего признано банкротом в октябре 2015 с долгом 150 млн руб.

«Былина» – после 22 лет работы на рынке авиаперевозок с сентября 2016 года объявление банкротства.

Авиакомпания «Татарстан» – отзыв сертификата эксплуатанта (после крушения Boeing-737), объявлен банкротом с октября 2014 года.

Авиакомпания «Трансаэро» признана банкротом с долгом 230 млрд руб., который в 144 раза больше стоимости активов.

После активного прироста авиапарка и увеличения количества направлений, повторяя ошибки крупнейших обанкротившихся авиаперевозчиков России, вступает в процедуру банкротства авиакомпания «ВИМ-АВИА», тем самым дополняя данный список.

Из списка обанкротившихся предприятий в сфере авиаперевозок сравним деятельность авиакомпаний «Трансаэро» и «ВИМ-АВИА».

Авиаперевозчик «Трансаэро» прекратил свою деятельность по операциям в октябре 2015 года. Базировалась в московских Аэропортах Домодедово и Внуково, формируя дополнительный хаб в аэропорту Пулково. Авиакомпания выполняла пассажирские и грузовые рейсы по России, а так же международные рейсы средней и большой протяженности в страны Европы и Азии, Северной и Латинской Америки. Флот составлял свыше ста воздушных судов. Являясь второй в стране по годовому пассажирообороту авиакомпанией после Аэрофлота, за конец 2013 начала 2014 года авиакомпания на своих авиарейсах перевезла почти 13,2 миллиона человек. Компания начала испытывать финансовые трудности с осени 2014 года, и в конце декабря этого же года ей были получены госгарантии по кредиту ВТБ на 9 млрд. В сентябре 2015 года авиакомпания была включена в санкционный список Украины. Санкции предусматривали блокировку активов и приостановление выполнения экономических и финансовых обязательств, а так же ограничение, частичное или полное прекращение транзита ресурсов, полетов и перевозок через территорию Украины.

После отзыва Росавиацией сертификата эксплуатанта в октябре 2015 года большинство воздушных судов авиакомпании было выведено из эксплуатации и поставлено лизингодателями на стоянки в разных аэропортах России и зарубежья. Несколько самолетов уже нашли новых хозяев, несколько

было задержано за неуплату аэропортовых сборов, судьба остальных еще не решена [2].

В дальнейшем новые попытки получить помощь у государства успехов не принесли. Министерство экономики посчитало, что хронические убытки перевозчика «Трансаэро» возникли из-за политики самой компании, и было принято решение не в адресной господдержке, а ухода компании должника с рынка. Заметим, владельцы «Трансаэро» опирались на имевшийся у них мощный административный ресурс. Однако даже он не смог спасти компанию в 2015 году, когда надежды на помощь от государства обернулись прессингом со стороны национального перевозчика – «Аэрофлота». Тем не менее, для обеспечения бесперебойной перевозки пассажиров авиакомпании «Трансаэро» Аэрофлот создал оперативный штаб, осуществляющий координацию операционной деятельности «Трансаэро». Перевозка пассажиров «Трансаэро» осуществлялась до 15 декабря 2015 года рейсами «Трансаэро», компаний группы «Аэрофлот», а также других российских авиаперевозчиков [3].

Некоторые эксперты уверены, что закрытие «Трансаэро» – это, прежде всего, политическая воля, а стратегические просчеты авиакомпании еще можно было исправить.

Авиакомпания «ВИМ-АВИА» основана намного позже крупнейшего в свое время «Трансаэро» – октябрь 2002 года, базировавшаяся в московском аэропорту Домодедово.

В 2004 году «ВИМ-АВИА» начинает наращивание самолетного парка и покупает 12 комфортабельных и экономически эффективных самолетов Boeing 757-200. Этим самым авиакомпания смогла занять ведущее место на самых массовых чартерных туристических направлениях (Египет, Тунис, Турция), существенно потеснив другие авиакомпании.

В 2011 году «ВИМ-АВИА» получает подтверждение IATA о включении в регистр операторов IOSA – акт признания безопасности предоставляемых авиакомпанией услуг на рынке внутренних и международных авиаперевозок со стороны ИАТА. Количественные показатели безопасности полетов, применяемые в мировой практике, традиционно сохраняются в «ВИМ-АВИА» на уровне передовых авиакомпаний в отрасли [1].

Регулярная маршрутная сеть авиакомпании насчитывает 27 городов: Аликанте, Барселона, Малага, Салоники, Римини, Овда; Сочи, Краснодар, Ростов-на-Дону, Екатеринбург, Новосибирск, Чита, Омск, Барнаул, Магадан, Хабаровск, Петропавловск-Камчатский; Ош, Наманган, Фергана, Самарканд, Карши, Андижан, Ленкорань, Гянджа, Гюмри, Термез. Также выполняются

чартерные перевозки как внутри России так и на курорты Италии, Испании, Греции, Франции, Финляндии, Австрии, Болгарии, Израиля, Индии, ОАЭ, Шри-Ланки, и далее увеличение регулярных рейсов и направлений в Сочи и Уфу. Авиаперевозчик удерживал одно из лидирующих мест среди российских авиакомпаний по количеству пассажиров, перевезенных на международных воздушных линиях, так авиакомпания выполнила 8909 рейсов, перевезя, совместно с авиакомпанией «Башкортостан» 1554339 пассажиров. Кроме того, следует отметить введенные интегрированные решения менеджмента:

- система бронирования и продажи авиаперевозок;
- система расчета и дистрибуции тарифов;
- система автоматизированной билетопечати и финансовых отчетов;
- хостовая система управления регистрацией и отправкой пассажиров.

Как видно, вплоть до начала 2016 года компания производила наращивание парка, увеличение числа рейсов, дальности перелетов и плотности.

Первые знаковые сбои в расписании допущены перевозчиком в июне, и они фактически сошли ей с рук – перевозчику продолжали выделять «хлебные» регулярные маршруты.

23 сентября 2017 г. в средствах массовой информации появились новости о задержке 19 рейсов более чем на десять часов, что связано с долгами авиакомпании за топливо. Согласно комментариям компании, проблемы связывали с сезонным спадом, который привел к спорам хозяйствующих субъектов.

Однако 25 сентября задержки рейсов составляли уже более 24 часов. А 26 сентября появился официальный комментарий, в котором авиакомпания констатирует наличие тяжелой финансовой ситуации. Следственный комитет России возбудил уголовное дело по ч. 4 ст. 159 УК РФ (мошенничество в особо крупном размере).

По состоянию на вторник 26 сентября 2017 г. регулярные рейсы авиакомпании были переведены из аэропорта Домодедово в аэропорт Внуково. Кроме того, на 27 сентября 2017 г. возвращения в Россию ждали около 16 тысяч пассажиров.

По заявлению Росавиации, у авиакомпании «ВИМ-АВИА» отсутствуют ресурсы для продолжения деятельности, в результате чего прекращена заправка воздушных судов. Также, в связи с большой просроченной задолженностью перед лизинговыми компаниями, суда находятся под угрозой ареста. Президент

России потребовал быстро и эффективно решить проблему «ВИМ-АВИА», вследствие чего последовал арест представителей администрации.

Ни «Трансаэро», ни «ВИМ-АВИА» не вели свои расширения совсем уж без оглядки и прогнозов на риски. Обе авиакомпании надеялись на весьма значимую подстраховку – огромная масса пассажиров, все более растущая с расширением масштабов деятельности и завязанная, в том числе на социально значимые маршруты, сама по себе должна была послужить им защитой. Как полагают наблюдатели, представители менеджмента авиакомпании не сомневались, что в случае серьезных проблем государство не оставит их без поддержки. Хотя бы из стремления избежать масштабного коллапса, который затронет большое число людей и сулит большие неприятности самим властям. И как говорят очевидцы, в кулуарах высоких совещаний чиновники давали понять, что сход авиакомпании с дистанции абсолютно исключен – впереди выборы, и социальный взрыв никому не нужен.

Вероятно, на финальном этапе власти все же посчитали, что вкладывать государственные средства в реанимацию частной авиакомпании нецелесообразно. Вывоз туристов с курортов худо-бедно завершили, а издержки по чартерным программам легли на плечи туроператоров, повторно оплативших рейсы.

По мнению специалистов, крах «Трансаэро» и «ВИМ-АВИА» уже оказал колоссальное влияние на туристический рынок и еще окажет в будущем. Дешевая и востребованная массовая чартерная перевозка фактически остается доступной только ограниченному количеству заказчиков. Это крупнейшие туроператоры, имеющие аффилированные авиакомпании, либо финансовые ресурсы для «оптового» фрахта самолетов. Их вес и влияние на рынке, очевидно, будут расти. Что касается других компаний, оперирующих не столь масштабно, но стремящихся предлагать разнообразие бюджетного продукта по большому выбору направлений, то им в новых условиях станет сложнее удерживать свои позиции. Последствия мы увидим уже в следующем году к лету – как утверждают специалисты, дешевого турпродукта будет меньше.

Из всего того, что произошло с авиакомпаниями «Трансаэро» и «ВИМ-АВИА» вне зависимости от размеров их авиапарков, программ развития и финансовой поддержки, можно выделить общие моменты. В первую очередь, это быстрое наращивание количества направлений авиаперевозок, вследствие этого повышенная потребность в воздушных судах, приобретение которых возможно через лизинг, а именно, приобретение лизинговых (дешевых) самолетов, бывших в эксплуатации. Это, в свою очередь, увеличило

стоимость ремонта и обслуживания данных судов, что в некоторой степени и привело к финансовым проблемам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ВИМ-АВИА [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vim-avia.com> (дата обращения 3.11.2017). – Загл. с экрана.
2. Подрезанные крылья: что случилось с самолетами «Трансаэро» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.forbes.ru/kompanii/infographics/310823-podrezannye-krylya-chto-sluchilos-s-samoletami-transaero> (дата обращения 3.11.2017). – Загл. с экрана.
3. ТРАНСАЭРО. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vk.com/transaero> (дата обращения 2.11.2017). – Загл. с экрана.

УДК 656.7, 629.735.45

### **ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЫНКА ВЕРТОЛЁТНЫХ УСЛУГ**

**Каноркина А. В.**  
*aneya\_@mail.ru*

**Немчинов О. А.**  
*(научный руководитель)*

*Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С. П. Королёва  
(г. Самара)*

В работе проанализирован действующий коммерческий парк вертолётов, выявлены основные тенденции развития вертолётных авиауслуг на территории Российской Федерации. В ходе исследования отмечены основные тенденции развития вертолётных авиационных услуг и проблемные вопросы развития данного рынка. Кроме того, определены основные сферы применения вертолётной техники с указанием применяемых отечественных и иностранных воздушных судов.

*Ключевые слова:* вертолёт, воздушное судно, сфера применения, авиакомпания, рынок вертолётных услуг, авиатранспортный рынок, коммерческий парк вертолётов.

Вертолётный сегмент является неотъемлемой частью авиатранспортного рынка. Особые лётно-технические возможности вертолётов обеспечивают им существенные преимущества по сравнению с самолётами, а также с наземными технологиями при выполнении целого ряда работ. Особенно эти преимущества проявляются в труднодоступной местности, при отсутствии аэродромов, необходимой инфраструктуры и оборудования.

Российский вертолётный рынок можно условно разделить на две части: первая – государственные и полувоенные вертолёты, вторая – частные и корпоративные. При этом, в первой части присутствуют в основном российские машины, а во второй – зарубежные. Однако сегодня не только наши частные владельцы выстраиваются в очередь за импортной техникой, но и государственные органы обратили пристальное внимание на западные вертолёты [1].

В России сертифицирован практически весь модельный ряд Eurocopter и самый продаваемый сегодня поршневого вертолёт Robinson R44.

По существу, на российском рынке сформировалась ниша частных вертолётов – это машины стоимостью до 1 млн долл. Однако вертолёты в России приобретают не из-за экономии (экономии времени, например), а чаще всего – из соображений престижа.

В то же время отечественный вертолётный рынок, особенно рынок лёгких вертолётов, уже проявляет чёткие требования к машинам, как по количеству посадочных мест, так и по функциональному назначению (спасательные, аварийные, транспортные, пассажирские и т. д.).

Из отечественной техники в секторе лёгких (по западной классификации) машин у нас пока только Ми-34С. В классе машин грузоподъёмностью до 3 т ставка сделана на две машины: «Ансат» и Ка-226. Обе покрывают практически близкие функциональные ниши (учебно-тренировочную, аварийно-спасательную, скорой медицинской помощи, транспортную и т. п.).

Среди тяжёлых машин большой выбор: Ка-32, различные варианты Ми-8/17, новый Ми-38 и Ми-26Т. Идеология советского вертолётостроения всегда была нацелена на разработку и производство тяжёлых военных машин [2].

Структура вертолётного парка России представлена на рис. 1.

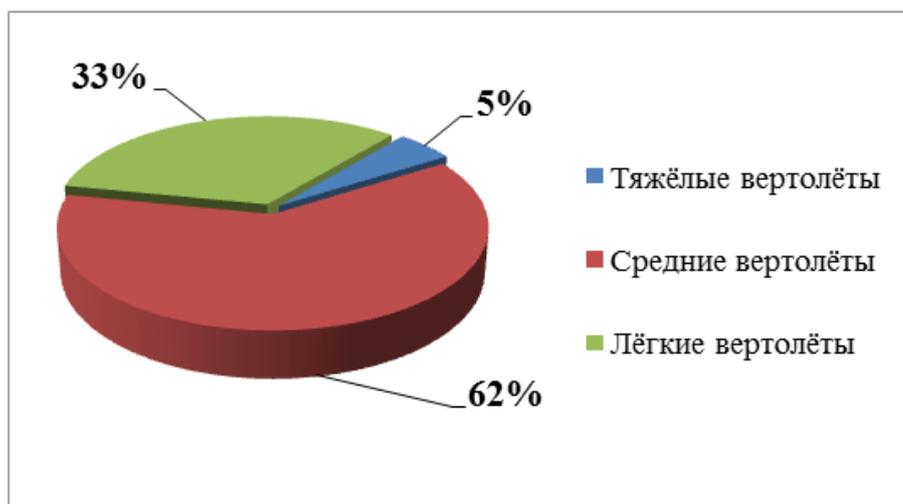


Рисунок 1 – Структура вертолётного парка России

Действующий коммерческий парк российских эксплуатантов насчитывает 1111 вертолетов, по состоянию на 2016 год.

Таблица 1 – Состав действующего коммерческого парка вертолётов

Отечественного производства		Западного производства	
Вертолет	Количество (ед.)	Вертолет	Количество (ед.)
Ми-26Т	35	AW-139	2
Ми-8МТ	210	W-3	1
Ми-8	596	Bk-117	4
Ка-26	16	Bell-429	1
Ка-226	3	AW-119	2
Итого	981	A-109	2
		EC-135	10
		EC-130	6
		Bell-407	1
		AS-355	5
		AS-350	18
		R-44	70
		EC-120	2
		Bo-105	4
		Bell-206B	1
		Итого	130

Сравнительная оценка характеристик российских и зарубежных вертолётов подтверждает потенциал конкурентоспособности российских вертолётов среднего и тяжёлого классов, а также перспективных российских моделей лёгких вертолётов.

Анализ результатов деятельности отдельных авиакомпаний и объёмных показателей деятельности отдельных отраслей промышленности позволяет выявить следующие тенденции развития вертолётных авиауслуг:

1. Объём вертолётного обслуживания предприятий промышленности увеличивается по мере роста промышленного производства в России, но наибольшее влияние на него оказывает спрос со стороны добывающих отраслей промышленности, в первую очередь, нефтегазового комплекса.

2. Объёмы применения вертолётов в таких сферах, как лесоохрана и санитарная авиация примерно сохранились на уровне 2004 г., поскольку кардинальных изменений в этих сферах не наблюдалось.

3. Продолжился рост объёмов предоставляемых услуг российскими авиакомпаниями за рубежом, что связано как с их стабильным участием в транспортном обслуживании миротворческих миссий, так и с расширением практики предоставления услуг западным компаниям вследствие конкурентоспособности российских средних и тяжёлых вертолётов и роста авторитета российских авиакомпаний [1].

Основные проблемные вопросы развития рынка применения вертолётов в России отражены в табл. 2 [3].

Таблица 2 – Проблемные вопросы развития рынка применения вертолётов в России

Наименование	Следствие
Физическое и моральное устаревание парка.	Повышенные эксплуатационные расходы, обусловленные невысоким уровнем технического совершенства эксплуатируемых вертолётов и затратами на поддержание лётной годности физически устаревших вертолётов.
Несоответствие структуры спроса на вертолётные услуги структуре эксплуатируемого парка вертолётов; «привязка» развития видов и объёмов авиауслуг к эксплуатируемым типам вертолётов.	Повышенная стоимость ряда видов вертолётных услуг, что приводит к снижению экономической эффективности применения вертолётов, завышенным транспортным расходам, снижению конкурентоспособности.

Наименование	Следствие
Несогласованность государственной политики в отношении вертолётного сегмента воздушного транспорта России, вертолётостроения, использования вертолётных технологий в различных сферах экономики.	Сдерживание модернизации и обновления российского парка вертолётов; экономически неоптимальная структура вертолётных услуг; сдерживание внедрения новых технологий вертолётного обслуживания; ограничение развития авиации общего назначения.
Недостаточные объёмы бюджетного финансирования социальных сегментов экономики, имеющих большое социальное и стратегическое значение.	Сокращение объёмов применения вертолётов на ряде сегментов рынка.

К тому же, вертолёты лёгкого и среднего класса находят всё более широкое применение не только у частных владельцев и у небольших вертолётных операторов, но и в крупных авиакомпаниях, среди которых «ЮТэйр» и «Газпромавиа», а также в государственных службах. В табл. 3 представлены виды деятельности, в которых применяются вертолёты.

Таблица 3 – Сферы применения вертолётной техники

Вид деятельности	Вертолёты российского производства	Вертолёты иностранного производства
Медицина	Ми-8 МТВ	Eurocopter EC135 Eurocopter EC145 Eurocopter AS350
МЧС	КА32А Ми8МТВ-1	Bell 212
Пожарные	Камов Ка-32А1 Миль Ми-14ПЖ Миль Ми-26ТП	S-64E Erickson AirCrane S-64 Skycrane Bell 212
Туризм	В-7 ВМ-01 Ка-8 М-1	AIRSCOOTER II Bell MODEL 30 Bell MODEL 42 Brantly B-2
Юридические и физические лица	Ми-2Т Ми-60 МАИ СВ-3	Robinson R44 Robinson R66 Eurocopter EC130 Eurocopter AS350

Долгие годы самым продаваемым вертолётom в мире был Ми-8 (было продано около 13 тыс. шт.), но за последние годы заметен спад в производстве отечественной вертолетной техники и заметное увеличение закупок иностранных воздушных судов. В табл. 4 представлены самые продаваемые на сегодняшний день вертолёты [4].

Таблица 4 – Рейтинг вертолётной техники по количеству продаж

Вертолёт	Количество проданных вертолётов, шт.
Ми-8 (Россия)	13 000
Hughes 500 (США)	6 000
Bell 407 (США)	3 700
Sikorsky S-70C/УН-60 (США)	3 000
Sikorsky УН60 (США)	3 000
Robinson R44 (США)	2 500
Eurocopter EC135 (Франция)	1 500
Augusta 109 (Италия)	1 120
Westland Lynx (Великобритания)	1 000
Sikorsky S-76 (США)	600

За последние годы наблюдается положительная тенденция увеличения доли вертолетных перевозок пассажиров и грузов. Исходя из полученных результатов исследования, можно сделать вывод, что отечественная вертолетная техника не уступает иностранной по техническим характеристикам. Но из-за небольшой производительности и поставок, стоимость ВС увеличивается, что является одним из решающих факторов понижения конкурентоспособности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лесничий, И. В. Анализ состояния российского рынка вертолётов [текст] / И. В. Лесничий // Вестник университета. – №6 (16). – 2008. – С. 79–82.
2. ОАО «Вертолёты России» за 2013 год [текст]: годовой отчёт. – М., 2014. – 59 с.
3. Горлов, В. В. Российский рынок вертолётных услуг [текст] / В. В. Горлов. – Казань: Омега, 2008. – 37 с.

4. Топ 10 самых продаваемых вертолётов [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dekator.com/archives/9162> (дата обращения 30.11.2017). – Загл. с экрана.

УДК 656.7.025, 656.072

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКИХ АВИАКОМПАНИЙ НА РЫНКЕ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

**Евстифорова Д. В.**  
*darina.dasha96@mail.ru*

**Немчинов О. А.**  
*(научный руководитель)*

*Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С. П. Королёва  
(г. Самара)*

В работе анализируется состояние пассажирских воздушных перевозок в России. Рассматриваются отличия low-cost авиакомпаний от традиционных авиакомпаний. В качестве примера выбрано характерное для авиакомпаний большинства бизнес-моделей воздушное судно – Boeing 737-800, анализируется технологический график обслуживания данного воздушного судна, подсчитано среднее суточное количество рейсов и суточное время использования у традиционной и низкобюджетной авиакомпаний воздушного судна данного типа. Выдвинуты предложения по направлениям повышения эффективности эксплуатационной деятельности российских авиакомпаний.

*Ключевые слова:* воздушное судно, низкобюджетная авиакомпания, low-cost, бизнес-модель, себестоимость, тариф, рейс.

Пассажирские авиаперевозки – важный индикатор состояния экономики, отражающий динамику расходов состоятельных слоев населения в деловых поездках и на отдыхе. В период экономического подъема жители страны выбирают более комфортные, хотя и дорогие, варианты передвижения, но в период спада частично переключаются на бюджетные виды транспорта и более доступные по стоимости направления.

Для того чтобы увеличить интенсивность пассажирских авиаперевозок в России важно создать такие условия, чтобы воздушный транспорт стал более доступным для всех слоев населения, в независимости от состояния экономики

страны. В качестве решения данной задачи, можно рассмотреть бизнес-модель низкобюджетных авиаперевозчиков.

«Лоу-кост – авиакомпании» – авиакомпании, предлагающие сниженную плату за проезд в обмен на отказ от большинства традиционных пассажирских услуг. Низкобюджетные перевозчики оказали значительное влияние на рынок воздушных перевозок, но степень и характер этого влияния в значительной степени зависит от страны и региона [1].

Традиционные авиакомпании оптимизируют свои доходы путем разделения пассажиров на классы: эконом-класс, бизнес-класс, первый класс. Так как единица себестоимости услуги традиционной авиакомпании достаточно высокая, то даже самые низкие тарифы эконом-класса доступны не всем слоям населения, в результате значительная часть рынка изолирована от полетов. Эта часть рынка соответствует людям с низкой готовностью платить большие денежные средства за авиаперелет. Низкобюджетные авиаперевозчики вошли на рынок, нацеливаясь на аудиторию именно этого сегмента рынка, предлагая низкие тарифы.

В западной практике применения low-cost бизнес-модели один из основных факторов снижения затрат – экономия на аэропортовом обслуживании, которая зачастую достигается использованием второстепенных аэропортов, предоставляющих минимум сервиса для пассажиров, либо использованием бюджетных терминалов в крупных аэропортах [1]. Использование второстепенных аэропортов позволяет экономить на аэропортовых сборах и наземном обслуживании. Кроме того, низкая загруженность второстепенных аэропортов позволяет авиакомпаниям снижать время разворота самолета.

В настоящее время в России аэропортовые сборы и тарифы формируются в соответствии с Приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 17 июля 2012 г. №241 «Об аэронавигационных и аэропортовых сборах, тарифах за обслуживание воздушных судов в аэропортах и воздушном пространстве Российской Федерации». В соответствии с методологией, изложенной в данном Приказе, по ряду причин величины аэропортовых сборов могут завышаться. Для успешного развития рынка низкобюджетных авиакомпаний стоит внести некоторые изменения в данный Приказ [2].

В рамках исследования рассмотрено насколько low-cost, авиакомпании могут снизить затраты на аэропортовое обслуживание, функционируя в крупных аэропортах РФ.

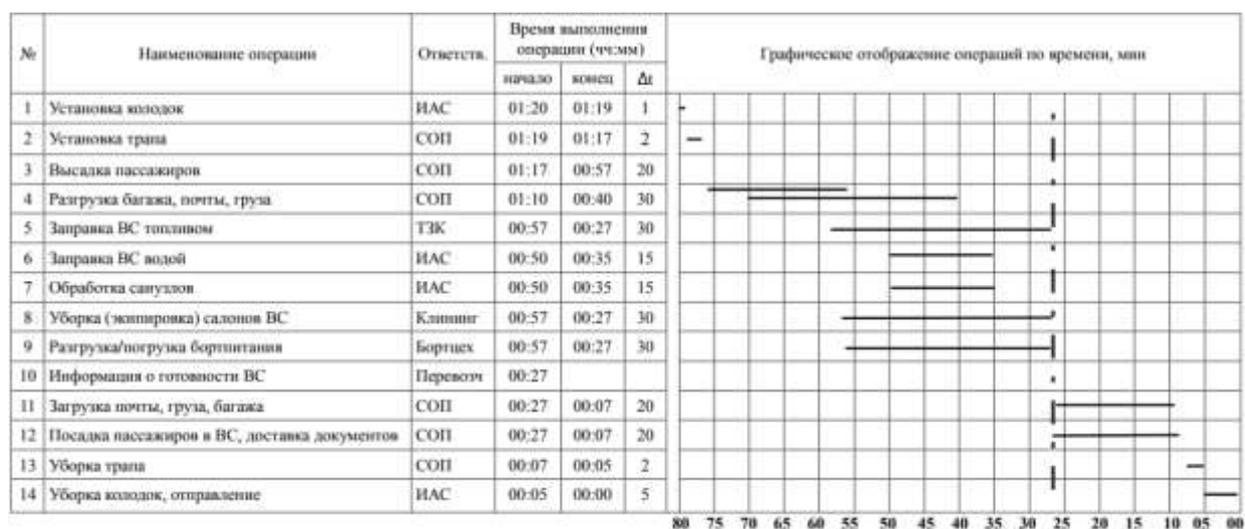


Рисунок 1 – Технологический график подготовки Boeing 737-800 к отправлению (внутренние регулярные перевозки)

В качестве примерного воздушного судна рассмотрен самолет Boeing 737-800, так как по своим характеристикам он является наиболее подходящим и, на данный момент, востребованным среди low-cost авиакомпаний. В настоящее время на внутренних рейсах для наземного обслуживания данного типа воздушного судна требуется 80 минут. Операции, входящие в технологический график Boeing 737-800, представлены на рис. 1.

За счет внедрения в эксплуатационную практику элементов бизнес-модели low-cost возможно сокращение продолжительности ряда технологических операций. Например, концепция low-cost авиакомпаний не предполагает перевозку груза и почты, поэтому разгрузку/загрузку багажа можно сократить до 10 минут. Уборкой салона ВС занимаются члены экипажа, так же время данной операции можно уменьшить до 15 минут. Согласно данной бизнес-модели пассажиры пешком идут до ВС, т. е. самолет буксируется максимально близко к аэровокзалу, поэтому посадку и высадку пассажиров можно сократить с 20 минут до 15 минут. Все это свидетельствует о возможности сокращения времени подготовки воздушного судна к полету от 20 до 40 минут, что позволит увеличить оборот ВС авиакомпании.

Чем меньше времени воздушное судно находится на земле, простаивает в аэропорту, тем меньше доля непроизводительных затрат в себестоимости рейса. Кроме того, за счет сокращения времени оборота ВС возможно выполнение дополнительного рейса в сутки, т. е. получения дополнительного дохода.

Немаловажным фактором, влияющим на эксплуатационные показатели функционирования авиакомпании, является суточное время использования

воздушных судов. На примере воздушного судна Boeing 737-800 традиционной («S7 Airlines») и низкобюджетной («Победа») авиакомпаний России, подсчитано суточное количество рейсов у авиакомпаний на данном ВС.

С помощью сайта flightradar24.com за 18 ноября 2017 года было подсчитано количество рейсов воздушного судна Boeing 737-800, низкобюджетной авиакомпании «Победа». Эта авиакомпания была выбрана в качестве объекта рассмотрения как единственная на данный момент низкобюджетная авиакомпания в России [3].

Так же подсчитано количество рейсов на таком же типе самолета у авиакомпании «S7 Airlines». Данная авиакомпания обладает широкой сетью как внутренних маршрутов, так и маршрутов в страны СНГ, Европу, Ближний Восток, Юго-Восточную Азию и страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Одно из основных преимуществ данной авиакомпании в том, что она обладает современным и одним из самых «молодых» парков воздушных судов на российском рынке авиаперевозок.

Так же с помощью сайта flightradar24.com было подсчитано среднее суточное время использования каждого воздушного судна низкобюджетной и традиционной авиакомпаниями (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты статистической обработки.

Показатель \ Авиакомпания	Low-cost	Традиционная
Количество рейсов в сутки	7	4
Суточное время использование ВС, час	15,41	11,07
Время нахождения ВС на земле, час	8,59	12,93

Низкобюджетная авиакомпания совершает почти в два раза больше рейсов на Boeing 737-800, чем традиционная, так как low-cost авиакомпания стремится обеспечить высокую интенсивность использования воздушного судна. Таким образом, снижая время нахождения ВС на земле, т. е. уменьшая время обслуживания ВС (как в вышеприведенном примере для Boeing 737-800 – до 40 минут), традиционная авиакомпания сможет совершать два дополнительных рейса по средней дальности полета, что позволит увеличить интенсивность коммерческого использования воздушных судов.

В зарубежных исследованиях выделено несколько основных типов авиакомпаний, которые в настоящее время работают на рынке как низкобюджетные авиакомпании:

- 1) Low-cost авиакомпании, которые были созданы первоначально по бизнес-модели low-cost, либо были перемоделированы под такую стратегию;
- 2) Low-cost авиакомпании, созданные как дочерние от традиционных авиакомпаний;
- 3) традиционные авиакомпании, которые пытаются снизить себестоимость рейсов за счет исключения части услуг.

Не все низкобюджетные авиакомпании имеют одинаковую стратегию и единообразное формирование тарифа. Некоторые традиционные авиакомпании под давлением конкуренции также изменили свои бизнес-модели, создавая дочерние низкобюджетные авиакомпании, или широко внедряя в свою деятельность элементы концепции «low-cost».

В России на рынке воздушных перевозок есть лидер по объему выполняемых перевозок – авиакомпания «Аэрофлот», которая второй раз за свое существование создает низкобюджетную авиакомпанию (первая попытка была неудачной, на полеты авиакомпании «Добролет» Европейский Союз наложил санкции, а с 2015 года авиакомпания «Победа» стала правопреемником «Добролета»). Авиакомпания «Победа» работает по стратегии бизнес-модели low-cost, но реализует ее в неполной мере. Авиакомпания не достигает максимально высокого оборота парка воздушных судов, что связано с использованием крупных и загруженных аэропортов России (хотя даже в них авиакомпания старается максимально возможно сократить время оборота парка ВС).

Для традиционных авиакомпаний применение элементов бизнес-модели «low-cost» может заключаться в следующем:

- применение широкой линейки пассажирских тарифов, в том числе максимально низких тарифов с минимальным набором бесплатно предоставляемых услуг;
- осуществление прямых региональных рейсов в ночное время, доставляя пассажиров из других региональных аэропортов России, снижая тем самым стоимость билета за неудобное время перелета, но привлекая пассажиров низкой стоимостью билета с других видов транспорта;
- использование нового унифицированного парка воздушных судов, что позволяет снижать издержки на техническое обслуживание и др.

Кроме того, во многих аэропортах можно создать low-cost терминалы для обслуживания низкобюджетных авиакомпаний, что позволит снизить аэропортовые сборы.

Таким образом, можно сделать вывод, что для развития рынка воздушных перевозок в России необязательно открывать новые low-cost авиакомпании, а достаточно отечественным традиционным перевозчикам перейти на ряде направлений и по ряду пассажирских сегментов на бизнес-модель low-cost, причем постараться реализовывать данную концепцию по всем критериям, а именно:

- единый класс посадочных мест в воздушном судне. Низкобюджетные авиакомпании имеют компоновку салона из одного (экономического) класса, что значительно упрощает решение маркетинговых задач и подходы к организации обслуживания пассажиров на борту;

- использование современного и нового авиапарка (новые самолеты потребляют меньше топлива и реже ломаются);

- распространение билетов через Интернет. В силу этого фактора, авиакомпаниям не нужно содержать многочисленные офисы продаж и многочисленных сотрудников в этих офисах. Кроме того, отсутствуют затраты на печать билетов и их доставку;

- задействование меньшего количества персонала благодаря совмещению работ;

- высокая степень эксплуатации ВС, достигаемая за счет коротких рейсов и быстрого оборота ВС, т. е. больше часов налета одного ВС в день означает снижение себестоимости рейса в расчете на одного пассажира;

- отсутствие перевозимого груза;

- простая структура тарифа и ценовая стратегия;

- принятие строгих методов управления доходами;

- предоставление только электронного билета, обычно без обозначения отдельного места в салоне ВС (для более быстрой посадки на свободные места);

- возможность приобретения продуктов питания и напитков на борту ВС. Отсутствие питания на борту экономит и время на уборку салона и его загрузку.

Вход низкобюджетных перевозчиков на маршруты традиционных авиакомпаний будет способствовать снижению тарифов на авиаперевозки. Более низкая стоимость билетов низкобюджетных авиакомпаний способствует переманиванию части пассажиров с рейсов традиционных авиакомпаний, а так же пассажиров, ранее пользовавшихся услугами перевозчиков других видов транспорта. Соответственно, низкобюджетные перевозчики будут иметь больший спрос среди населения, чем традиционные авиакомпании, что будет

стимулировать традиционные авиакомпании использовать экономически эффективные технологии работы по многим критериям для снижения себестоимости рейсов и предоставления, наиболее приемлемых по критерию цена-качество, услуг пассажирам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Губенко, А. В. Развитие рынка низкобюджетных авиаперевозок в Российской Федерации: монография [текст] / А. В. Губенко и др. – СПб.: Студент, 2016. – 191 с.
2. Губенко, А. В. Экономика воздушного транспорта / [текст] / А. В. Губенко, М. Ю. Смуров, Д. С. Черкашин. – СПб.: Питер, 2009. – 288 с.
3. Flightradar24 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.flightradar24.com/> (дата обращения 28.11.2017). – Загл. с экрана.

## Именной указатель

### А

- Азнагулов Т. Р.....21  
Алексеев А. А. ....127  
Арсентьева А. А.....163

### Б

- Барсуков А. Г. ....89  
Батов И. А.....147  
Батраков И. А.....96  
Бекишев А. С.....36  
Бильдаков Е. М. ....120  
Бобин П. Н.....30  
Бурнашев В. Е.....54

### В

- Вишнякова А. А..... 153, 185, 226

### Г

- Гареев А. М. ....14  
Говоров Е. С.....43  
Головнева Т. И.....43, 115  
Гончаров Д. В.....109  
Горшенин Д. С. ....83

### Д

- Даниленко Н. В.....120  
Диль В. Ф.....158  
Дроков В. Вл. ....60, 100  
Дроков В. Г.....60, 100, 131

### Е

- Евстифорова Д. В. ....237  
Еохин О. А.....68

### Ж

- Жданов А. Д. ....7

### З

- Загородных И. Г. ....43, 115  
Зиненков Ю. В.....96, 147  
Зиновьев В. С.....7  
Зиялtdинов Ш.Р.....150  
Золотарёва А. И.....163, 212

### И

- Ильичев А. И. ....54  
Исаев А. И.....25

### К

- Калошин А. Е.....60  
Каноркина А. В.....231  
Караваев Ю. А. ....36  
Киренчев А. Г. ....120  
Кропивенцева С. А.....179, 218  
Куликов А. С.....115

### Л

- Ландихов А. М.....127  
Леденева И. В. ....109, 141  
Ладоша Д. С.....36  
Лапаев А. В. ....30  
Ли А. В. ....68  
Лиманский А. С.....150  
Лукасов В. В.. ....49  
Луценко А. С.. ....141

### М

- Максимова И. А.....172  
Мартышкин А. В. ....68  
Мейер О. С.....167  
Московых Ю. С.....212  
Мухаметзянов Н. В. ....150  
Мурыщенко В. В. ....60, 100  
Мухутдинов Ф. И. ....100

**Н**

Немцев А. Г. ....	226
Немчинов О. А. ....	205, 231, 237
Никитюк И. А. ....	89
Николаева В. В. ....	179
Никушкин Н. В. ....	49

**О**

Огородникова Ю. В. ....	49
-------------------------	----

**П**

Павлинский Г. В. ....	131
Петров А. В. ....	43
Попельнюк И. А. ....	14
Пушкарев А. Ю. ....	109

**Р**

Радаева Ю. А. ....	218
Разинкин М. А. ....	127
Руденко Т. В. ....	185
Ружников Д. В. ....	191

**С**

Сайбель О. И. ....	172
Санчугов В. И. ....	21
Синицкая А. В. ....	131
Скудаев Ю. Д. ....	100
Соловьева А. В. ....	153
Сысоева Е. В. ....	205

**Т**

Татаринцев А. А. ....	141
Трофимов Л. М. ....	7
Тахватулина Н. К. ....	191
Тытюк Л. С. ....	158

**Ф**

Федюков В. В. ....	77, 83
--------------------	--------

**Х**

Халиуллин В. Ф. ....	100
Хвоцев С. О. ....	21
Ходацкий С. А. ....	77, 83
Ходунаев А. Ю. ....	131
Хоришко Р. А. ....	25, 77

**Ч**

Чамовских А. В. ....	167
Чокой В. З. ....	68

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННОЙ  
ТЕХНИКИ И МЕТОДОВ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ – 2017**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

**X научно-практической конференции студентов и аспирантов  
5–7 декабря 2017 г.**

**Том II**

---

Подписано в печать 07.12.2017 г.

Печать трафаретная  
15,4 печ.л.

Формат 60x84/16  
Заказ № 632

13 уч.-изд.л.  
Тираж 100 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, 2017