

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 – 2020

СБОРНИК ТРУДОВ

XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов

8-9 декабря 2020 г.

Том 2

Иркутск
2021

ББК 052-01
УДК 629.7
А 43

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

А 43 Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2020: сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов 4-5 декабря 2020 г. Том 2. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2021.– 204 с.

В сборнике представлены материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2020».

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

Сборник издается в авторской редакции

© Иркутский филиал МГТУ ГА, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

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

Галков А. В., Головкин Е. В., Тармаев А. А. К вопросу применения сцинтилляционного метода трибодиагностики на двигателе Д-30КП	6
Ефименко М. Г., Елизаров А. В. Варианты методов эксплуатации летательных аппаратов, улучшающих качество обслуживания авиационной техники	10
Жигалин М. А., Чуприков И. В. Влияние конструктивных параметров предкрылков на аэродинамику профилей, применяемых на стреловидных крыльях	15
Ившина А. А., Саранина Е. В. Определение температуры горения керосина в начальный момент горения в импульсной камере сгорания	20
Калинин Р. М., Камбалин И. Д., Коротеев А. В., Агаев Р. Н. К вопросу о применении беспилотных экранолетов	23
Карнаухов В. И., Мешкова Е. М., Ходецкий С. А. Исследование эксплуатационных характеристик реактивного топлива в лабораторных условиях	29
Коптев М. Г., Красников А. О., Лесков В. В. Обзор методов неразрушающего контроля при диагностике силовых установок летательных аппаратов	35
Луненок А. В., Сафарбаков А. М. Повышение удельного импульса тяги импульсного двигателя путем усовершенствования сопла	43
Рафиков А. Ф., Елизарьев А. Н. Обзор современных проблем и перспектив применения авиации при тушении лесных пожаров	49
Садовский В. В., Сафарбаков А. М. Методика определения массы топлива и воздуха, участвующего в процессе импульсного горения топливовоздушной смеси	54
Стрельников И. В., Караваяев Ю. А. Влияние условий эксплуатации на темп истощения ресурса авиационного ТРДД	57
Трубников И. В., Дольников А. А., Рогов Н. В. Применение неразрушающего контроля для элементов конструкций планера из композиционных материалов	66

Фёдоров В. И., Вострецов Д. В., Скоробогатов С. В. Тенденции изменения уровня безопасности полётов в контексте внедрения новых технологий	72
---	----

**СЕКЦИЯ «АВИОНИКА, АВИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ И
ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И МЕТОДЫ
ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»**

Баскаков М. Ю., Антипов В. Н., Бычкин В. М. Устройство очистки приемников полного давления воздушных судов.....	78
---	----

Калугина К. Е., Попов В. М. Устройство автоматизированного контроля электрических параметров авиационных жгутов.....	82
--	----

Ластовкина Е. А., Попов В. М. Устройство автоматизированного контроля сборки авиационных жгутов	86
---	----

Мингазов А. Л., Фёдоров Е. Ю. Применение генетических алгоритмов для решения задачи компоновки конструктивных узлов электрооборудования	90
---	----

Назаров П. С., Кудряков С. А. Разработка программного обеспечения отслеживания уровня натренированности летного состава согласно программам летной подготовки	96
---	----

Омшина Н. О., Диль В. Ф. Проблемы пилотирования ВС на этапе посадки и пути их решения	103
---	-----

Прискока Д. Д., Зайцев М. Д., Титов Ю. П. Применение интерпретатора PEACE на язык моделирования GPSS в учебном процессе	109
---	-----

Романьков С. А., Круглов С. П. Мобильная беспилотная роботизированная тележка для перевозки багажа и грузов в аэропорту	116
---	-----

**СЕКЦИЯ «СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ,
РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»
«СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ»**

Бехлер А. Е., Фыркова Т. А., Бодикова Т. Н. Повышение помехозащищенности радиолокационных систем на основе алгоритмов классификации	126
---	-----

Володягин А. В., Поваренкин Н. В., Ермаков А. К. Выбор параметров для контроля радиолокационных станций с активными фазированными антенными решетками при серийном производстве.....	131
--	-----

Евдокимов Д. В., Емельянов В. Е. Модель поведения нарушителя в системе информационной безопасности	137
Крючков Д. К., Емельянов В. Е. Применимость искусственного интеллекта в комплексной системе защиты информации автоматизированной системы организации воздушного движения.....	142
Обухова В. Е., Емельянов В. Е. Основные уязвимости систем управления на авиационном транспорте.....	147
Перевалов Д. Н., Клоченок Д. А., Котляров А. С., Шагарова А. А. Повышение достоверности и безопасности передачи и приема информации между экипажем ВС и органом ОВД посредством использования хеш-функций.....	152

СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ НА ТРАНСПОРТЕ»

Владельщиков В. В., Гончарук П. В., Черняк Д. Е., Трушников А. А., Лымарь Е. А. Импортозамещение в отрасли гражданской авиации	158
Герлиц А. В., Вишнякова А. А. Особенности перевозки опасных грузов воздушным транспортом.....	164
Орлова Н. А., Волосов Е. Н. Аэропорты России в условиях пандемии: стратегии выживания и развития.....	170
Сутягин В. М., Чернышева Г. Н. Факторный анализ динамики военных расходов.....	177
Ткаченко М. Т., Чернышева Г. Н. Методы контроля и надзора в системе государственного оборонного заказа.....	184
Харитонов Е. Н., Немчинов О. А. Стратегическое развитие региональных предприятий воздушного транспорта в рамках концепции создания национальной аэропортовой сети.....	191
Чернецкая Д. М., Вишнякова А. А. Программы лояльности в авиации	196

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

Председатель – Ходацкий С. А., заведующий кафедрой ЛА и Д, канд. техн. наук, доцент

УДК 621.45

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО МЕТОДА
ТРИБОДИАГНОСТИКИ НА ДВИГАТЕЛЕ Д-30КП

Галков А. В., канд. техн. наук
Головко Е. В.

Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)

Тармаев А. А., канд. техн. наук
Иркутский государственный университет путей сообщения
(г. Иркутск)

Анализ статистики досрочно снятых и аварийных авиационных двигателей говорит, что наименее надежными в конструкции авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) являются различные узлы трения. Для реализации надежности авиационных ГТД необходимо дальнейшее развитие методов диагностики технического состояния узлов трения. Эффективным направлением является применение сцинтилляционных измерений, основанных на анализе содержания в смазочных материалах частиц износа узлов трения и деталей масляной системы.

Ключевые слова: сцинтилляционный метод, узлы трения, частицы износа, авиационный двигатель.

Фрикционный и эрозионный износ, трещинообразование, коррозия и другие виды изнашивания обнаруживаются по наличию и скорости изменения концентрации, химическому составу частиц износа в рабочих жидкостях. Знания перечня химических элементов, из которых состоят трущиеся поверхности узлов и деталей масляной системы авиационных двигателей, позволяют осуществить поиск конкретного элемента двигателя, диагностировать его техническое состояние.

Особенно актуально применение сцинтилляционного метода диагностики для двигателей Д-30-КП, которые имеют большую долю отказов узлов трения.

В настоящее время контроль технического состояния узлов трения двигателя Д-30 КП осуществляется следующими методами контроля:

- ударно-импульсный метод (виброприбор ИВУ-1М);
- периодическая проверка концентрации механических примесей в масле на Fe и Cu анализаторами БАРС-3, МФС [Аттестат методики измерения

концентрации продуктов]. Спектрометры БАРС-3 были разработаны в 70-е годы двадцатого столетия и на сегодняшний день уже не удовлетворяют современным требованиям;

– средства бортового контроля («Стружка в масле», «Повышенная вибрация», «Опасная вибрация» и др.).

Периодическое предполетное диагностирование двигателей лабораторными средствами контроля (ИВУ-1М, БАРС-3, МФС) должно обеспечить выявление дефекта на ранней стадии развития, но на практике это происходит далеко не всегда. Согласно статистике, только в 6% случаев досрочного снятия двигателей (ДСД) дефект был обнаружен с помощью средств лабораторного контроля, что говорит об их низкой эффективности. Выявление дефекта средствами бортового контроля происходит на конечной стадии его развития и приводит к ДСД.

Эффективным подходом будет использование сцинтилляционного метода трибодиагностики изменения параметров частиц износа в пробе масла на двигателях Д-30 КП. За пять лет эксплуатации, сцинтилляционным методом было продиагностировано 90 двигателей Д-30КП/КУ/КУ-154, имевших признаки проявления неисправностей масляной системы. В 85 случаях источник дефекта был определен по результатам сцинтилляционных измерений с точностью до узла (функциональной системы) и подтвержден впоследствии при заводском контроле двигателей. Сцинтилляционный метод заключается в регистрации частиц износа, поступающих в область горения плазмы, где происходит их нагрев и сгорание (сцинтилляция). Образовавшееся излучение, соответствующее определенному химическому элементу, раскладывается в спектр, проходя через дифракционную решетку полихроматора, и фиксируется. Аппаратно метод представлен плазменным атомно-эмиссионным сцинтилляционным спектрометром [Дроков, 2018]. Блок-схема сцинтилляционного спектрометра представлена на рисунке 1.

Принцип действия спектрометра заключается в следующем. Предварительно отобранную и подготовленную пробу масла объемом 1мл с помощью ультразвукового распылителя превращают в мелкодисперсный золь. Полученный золь, состоящий из капель жидкости и частиц металлов потоком транспортирующего газа непрерывно, в течение 10 минут, вдувается в источник возбуждения спектров, воздушную плазму газового разряда СВЧ плазмотрона циклонного типа 2, температура которой составляет около 5200К.

СВЧ мощность в плазмотроне циклонного типа, передаваемая по волноводу, поддерживает стационарный СВЧ разряд атмосферного давления в разрядной камере. Стабилизация СВЧ разряда достигается тангенциальной подачей плазмообразующего газа, который дополнительно выполняет роль хладагента стенок разрядной камеры и выходного сопла.

При попадании металлической частицы в плазму она нагревается, испаряется, и полученный атомный пар возбуждается, т.е. происходит вспышка (сцинтилляция) частицы. Скорость поступления анализируемой пробы выбрана

такой, чтобы частицы металла микропримеси поступали в плазму последовательно по одной.

Излучение атомного пара с помощью конденсора 3 поступает на спектральный прибор – полихроматор 4. Разложенное в спектр излучение регистрируется фотоумножителями 5-7. Длительность импульса излучения частицы пропорциональна времени нахождения ее в плазме и составляет 1-10 мс. Поэтому на выходе фотоумножителей образуется последовательность импульсов различных длительностей и амплитуд. Электрические импульсы с фотоумножителей поступают на аналого-цифровой преобразователь 8 и обрабатываются ПЭВМ. В случае одновременного присутствия в пробе растворенного металла и металла в виде износных частиц на выходе фотоумножителей присутствует непрерывный (фоновый) сигнал, соответствующий растворенному металлу и импульсный – соответствующий износным частицам.

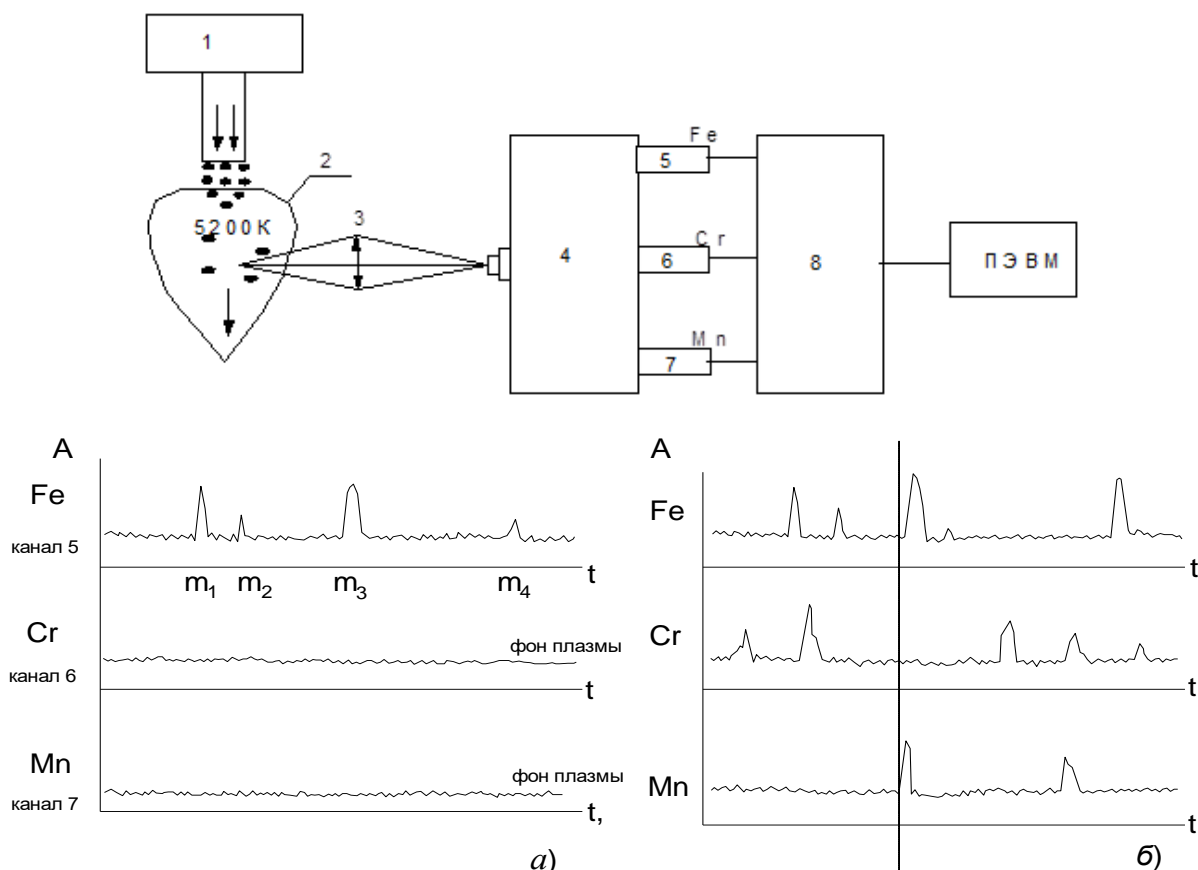


Рисунок 1 – Блок схема сцинтилляционного спектрометра на три канала:
 а) последовательность импульсов излучения, при присутствии в пробе только одного элемента; б) последовательность импульсов излучения при одновременном присутствии в пробе трех элементов

По специальным градуировочным графикам импульсный сигнал пересчитывается в элементную концентрацию износных частиц, непрерывный – в концентрацию растворенного элемента. Число вспышек (зарегистрированных импульсов) пропорционально числу износных частиц.

На рисунке 1 показано только три канала выделения сигнала, но число их зависит от типа полихроматора и может быть увеличено. Каждый канал настроен на регистрацию всплесков линий заданного химического элемента.

При попадании в плазму частиц, состоящих, например, только из железа, последовательность импульсов излучения будет присутствовать на канале 5 (рисунок 1а). На каналах 6-7 наблюдается непрерывное, слабое фоновое излучение плазмы.

В случае, если в масле присутствуют одновременно сложные частицы металла, состоящие из нескольких элементов (например, легированная сталь Fe-Mn) и простые, где каждая частица представлена одним элементом, то ПЭВМ сортирует импульсы излучения по одновременности их появления.

Совпадение по времени двух и более импульсов излучения указывает на наличие сложной частицы и, соответственно, на ее состав и тип сплава. На диаграмме (рис. 1б) представлены, в качестве примера, совпадающие импульсы по каналам Fe и Mn. В данном случае совпадающие импульсы показывают, что в пробе присутствовала сложная Fe-Mn частица.

Практический опыт разработки и использования сцинтилляционного спектрометра для измерения параметров частиц износа показал, что определяющими узлами спектрометра являются источник возбуждения спектров, распылитель жидких проб, а также принцип выделения и регистрации сигнала при сцинтилляционных измерениях.

Для эффективной реализации метода необходимо выбрать места отбора проб масла. Отбор проб масел целесообразно проводить из мест, приближенных к ответственным узлам и деталям, от которых зависит надежность работы авиационного двигателя, а значит и безопасность полетов. В соответствии с технологией, масло сливается с горячего двигателя через 20 минут после его останова, но нередки случаи, когда масло сливается с нарушением технологии, что может повлиять на результаты лабораторных исследований и оценку технического состояния. А значит необходимо определить места отбора масла, которые имеют наибольшую информативность и нарушения технологии незначительно влияли на результаты лабораторного анализа. К таким местам предлагается отнести следующие:

- маслофильтр МФС-30 (наличие изношенных частиц по числу и составу в меньшей степени зависит от времени отбора проб масла, а также есть возможность анализа крупных частиц износа размером более 50 мкм, оседающих на фильтре) [Дроков, 2018];

- передняя коробка приводов;

- задняя коробка приводов (поскольку основная масса изношенных частиц имеет небольшие размеры от 2 до 10 мкм, оптимально брать пробы масел с обеих коробок приводов, которые несут свою диагностическую информацию).

Таким образом, при реализации метода:

- решена одна из ключевых проблем существующих методов, а именно, регистрация сложных частиц износа;

- определены оптимальные места отбора проб масла;
- по данным статистики, имеется высокая вероятность выявления дефектов в узлах трения авиадвигателя на ранних стадиях развития, что позволит своевременно отстранить двигатель от эксплуатации.

По результатам сцинтилляционного метода выдается диагностическое решение (продолжить эксплуатацию, взять на особый контроль, ДСД).

Литература

1. Аттестат методики измерения концентрации продуктов изнашивания на установках типа МФС при диагностике авиадвигателей. – М.: ГосНИИГА, 1993. – 20 с.
2. Дроков В. Г. Диагностика узлов авиационных газотурбинных двигателей, омываемых смазочным маслом, по результатам анализа пробы смыва с диагностического слоя фильтроэлемента / В. Г. Дроков, В. В. Дроков, В. В. Мурыщенко, Ф. И. Мутдинов, Ю. Д. Скудаев, В. Ф. Халиуллин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2018. – Т.84. – №8. – С. 39-43. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-8-39-43.
3. Дроков В. Г. Оценка технического состояния маслосистемы авиационных газотурбинных двигателей с помощью трибодиагностических методов / В. Г. Дроков, В. В. Дроков, Ф. И. Мутдинов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2018. – Т.84. – №1-1. – С. 36-46. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-1-I-36-46.

УДК 623.74.094

ВАРИАНТЫ МЕТОДОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, УЛУЧШАЮЩИХ КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Ефименко М. Г.

Елизаров А. В.
(научный руководитель)

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

В статье предложены методы эксплуатации летательных аппаратов, улучшающие качество работ за счет согласованности специалистов технологических расчётов для определения рациональной системы обслуживания парка воздушных судов (ВС) государственной авиации.

Ключевые слова: эксплуатация, техническое состояние, авиационная техника, техническое обслуживание.

В процессе эксплуатации самолета меняется его техническое состояние, происходят необратимые процессы, происходящие в материалах, изменяются свойства деталей, агрегатов, узлов, блоков и условия их работы. Вероятность безотказной работы самолёта со временем уменьшается из-за повреждений. Для

того чтобы надежность самолётов оставалась на заданном изначально уровне, при эксплуатации авиационной техники применяют разнообразные методы, которые в той или иной степени улучшают качество работ.

Методы эксплуатации, будучи правильно построены, уменьшают поток отказов и повреждений, увеличивают долговечность летательного аппарата, уменьшают время и средства, необходимые для эксплуатации. Единственное, что неизбежно, так это то, что на ремонт и профилактику затрачивается определенное количество времени, в течение которого самолет мог бы использоваться по своему прямому назначению, кроме того, для выполнения профилактики современных самолетов требуется большой штат специалистов, требуется дорогое оборудование и проверочная аппаратура, что, в свою очередь, увеличивает эксплуатационные расходы.

Главное в методах эксплуатации воздушного судна – обеспечение летной годности в течение всего срока службы, при этом должны быть обеспечены:

- заданный уровень готовности изделий авиационной техники к полетам;
- работоспособность авиационной техники в полете;
- минимальные затраты времени, труда и средств на выполнение технического обслуживания и ремонта [Яблонский, 2009].

Для того чтобы выполнялись эти задачи, были разработаны специальные методы технического обслуживания и ремонта летательного аппарата, которые включают оперативное техническое обслуживание, проводимое перед каждым полетом и после полета. Основное назначение оперативного технического обслуживания – устранение возникших в полете и на земле неисправностей, которые приведут к отказам нормальной работы. Периодическое техническое обслуживание – проводится и выполняется на аэродромах через определенное время полета или определенное число посадок. Назначение периодического технического обслуживания – проведение углубленного контроля технического состояния, выявление и устранение системных неисправностей, неисправностей агрегатов, узлов и деталей самолета, профилактические мероприятия, предотвращающие возможность возникновения неисправимых отказов. Сезонное техническое обслуживание – техническое обслуживание, включающее перечень работ, которые предотвращают неисправную работу летательного аппарата: восстановление защитных покрытий, устранение коррозии, ремонт чехлов и заглушек и т.д. Данное техническое обслуживание определяется временем года, то есть особенностями погоды определенного времени года.

В современной обстановке, когда ресурсов для использования становится с каждым годом меньше и меньше, разрабатываются методы эксплуатации, при проектировании методов эксплуатации обеспечивается выбор схем, подбор элементов, выбор режимов работы, выбор материалов и применение всего в одном из методов.

Рассмотрим методы эксплуатации авиационной техники.

Параллельный метод (Рисунок 1) – на каждом самолете формируется экипаж, в состав включается необходимое количество специалистов по каждой из специальностей, специалисты обеспечиваются комплектом технических средств и расходных материалов. Работы начинаются и завершаются одновременно, таким образом работы проходят параллельно. Преимущество данного метода заключается в выполнении работ за короткое время, уменьшаются простои самолетов. Экипажи, закрепленные за своими самолетами, лучше изучают воздушное судно, а, следовательно, улучшается качество работ, в результате чего повышается вероятность своевременного выявления повреждений и отказов.

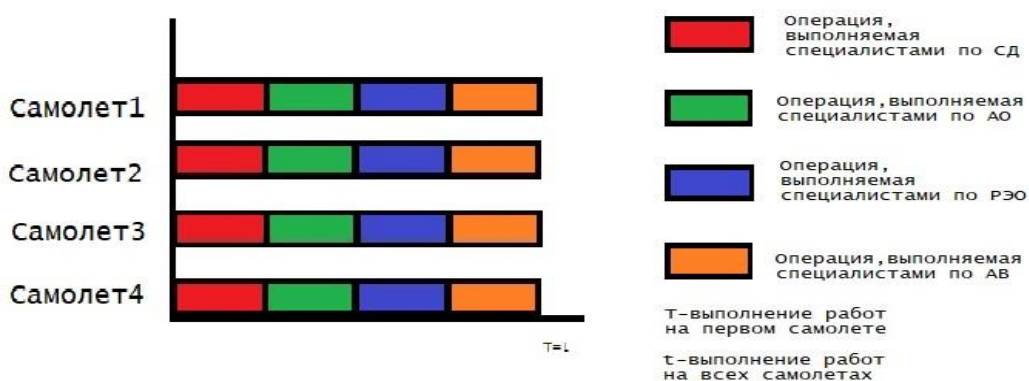


Рисунок 1 – Параллельный метод

Последовательный метод (Рисунок 2) – заключается в выполнении работ на нескольких самолетах. Формируется технологический расчет специалистов.

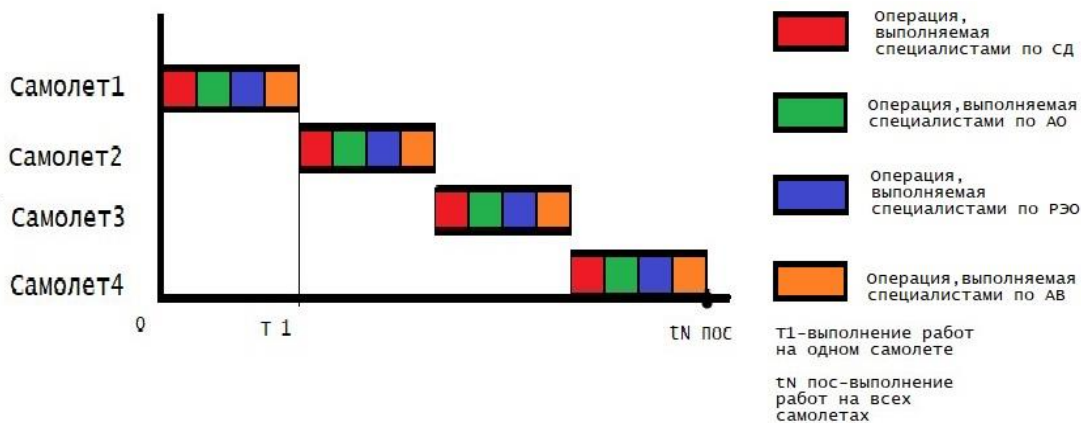


Рисунок 2 – Последовательный метод

Работа специалистов начинается на первом самолете и продолжается вплоть до завершения последним специалистом последней операции, и так до последнего самолета, таким образом, один и тот же расчет специалистов выполняет работы на закрепленных самолетах последовательно. Плюсы: возможность привлечения к выполнению работ на нескольких самолетах минимального количества сил и средств инженерно-авиационной службы (ИАС), высокие возможности для углубления знаний и упрочнения навыков специалистов по своему профилю, так как специалисты выполняют больше однотипных операций.

Параллельно-последовательный метод (Рисунок 3) – при этом методе специалисты по самолёту и двигателю (СД) формируют технический экипаж, а по другим специальностям создается технологический расчет.

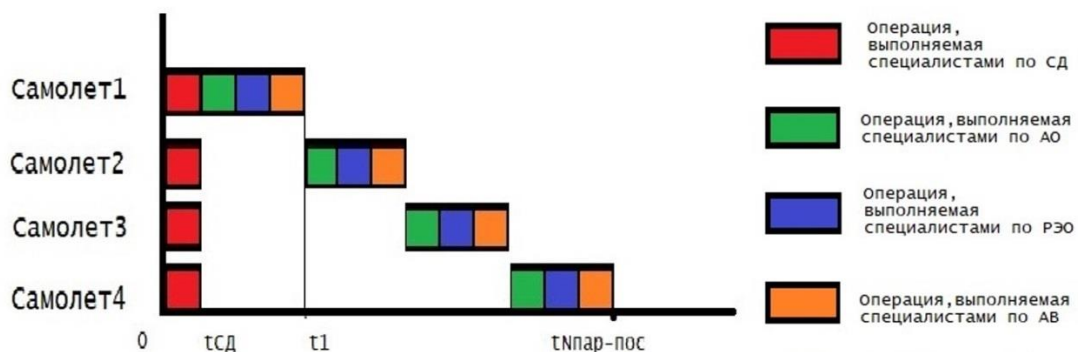


Рисунок 3 – Параллельно-последовательный метод

По специальности СД работы начинаются и заканчиваются одновременно, таким образом, параллельно. Расчет из специалистов по авиационному оборудованию (АО), авиационному вооружению (АВ), радиоэлектронному оборудованию (РЭО) начинает работу на первом самолете и заканчивает на последнем, то есть работает последовательно. Этот метод широко используется в ИАС. В этом случае, время, затрачиваемое на подготовку парка воздушных судов рассчитываем по формуле:

$$t_{Нпар-пос} = t_{сд} + (t_1 - t_{сд}) N \quad (1)$$

где – $t_{сд}$ – время выполнения работ по специальности СД; t_1 – время выполнения работ по всем специальностям на первом самолёте; N – количество самолётов.

Поточный метод (Рисунок 4) – за группой специалистов закрепляются определенные операции. Работа на объекте проходит таким образом, что первая группа специалистов, не ожидая других специалистов, переходит к следующему объекту, вплоть до завершения работ на последнем воздушном судне, далее специалисты других групп переходят от объекта к объекту. С помощью данного метода работы выполняются достаточно быстро на нескольких объектах с привлечением к работам умеренного количества сил и средств.

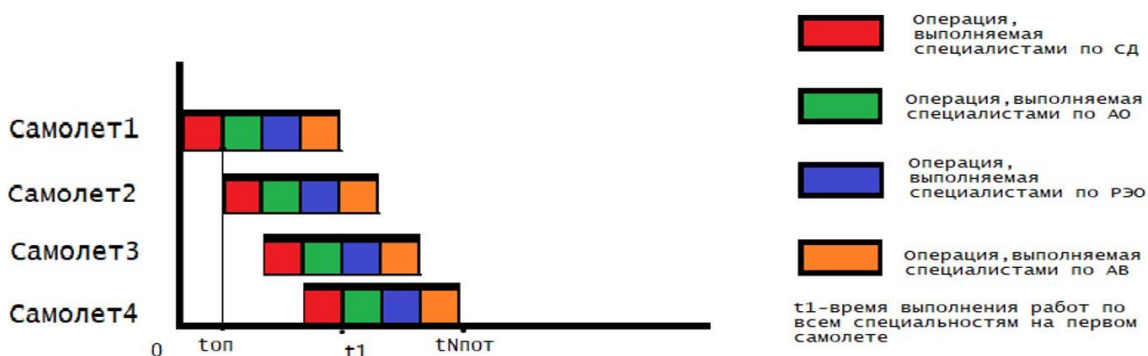


Рисунок 4 – Поточный метод

Для расчёта времени подготовки ВС поточным методом используем формулу:

$$t_{N\text{пот}} = t_1 + (N - 1) t_{\text{оп}} \quad (2)$$

где N – количество самолётов, закреплённых для подготовки за группами специалистов, $t_{\text{оп}}$ – время выполнения операции по одной специальности.

Экипажно-поточный метод (Рисунок 5) – метод комбинации параллельного и поточного метода. Смысл метода заключается в том, что за техническим экипажем, который состоит из специалистов по СД, закрепляется самолет, остальные специалисты работают на закреплённой группе самолетов, переходя от одного к другому, не ожидая выполнения работ по другим специальностям. С применением данного метода эксплуатации увеличивается оперативность подготовки АТ согласно предназначению. Технический экипаж по СД, постоянно закреплённый за своими самолетами, имеет хорошие возможности для более тщательного изучения индивидуальных технических особенностей своего воздушного судна, имеет тесный контакт с летным экипажем, что помогает повысить качество работ на авиационной технике.

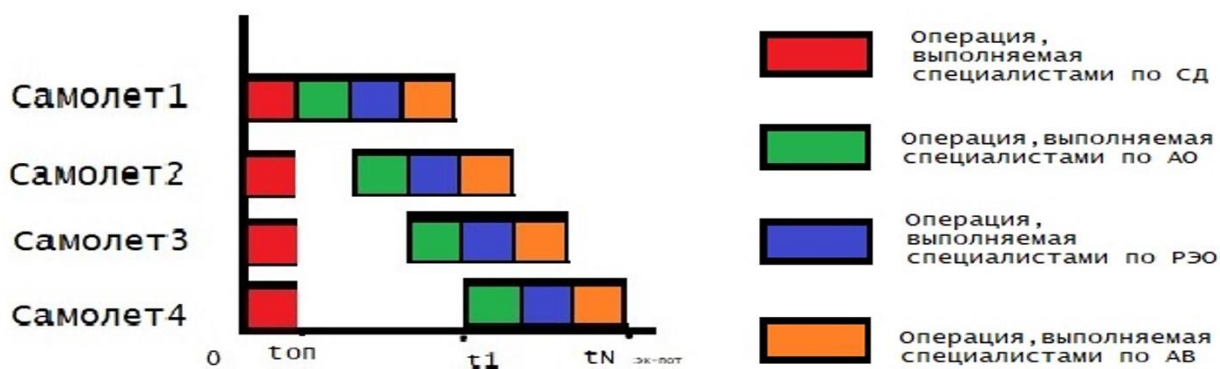


Рисунок 5 – Экипажно-поточный метод

Таким образом, каждый из рассмотренных методов имеет свои достоинства и недостатки, может быть выбран в зависимости от штата специалистов и средств, которые необходимы для эффективной эксплуатации авиационной техники.

Литература

1. Федеральные авиационные правила инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации (ФАП ИАО)/ МО РФ, 2005. 252 с.
2. Яблонский С. Н. Инженерно-авиационное обеспечение боевых действий и боевой подготовки частей авиации Вооруженных Сил / С. Н. Яблонский: – М.: Изд. ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. 2009. – 348 с.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДКРЫЛКОВ НА АЭРОДИНАМИКУ ПРОФИЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА СТРЕЛОВИДНЫХ КРЫЛЬЯХ

Жигалин М. А.

Чуприков И. В.
(научный руководитель)

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

В статье дается оценка параметров предкрылков на аэродинамику профилей, применяемых на стреловидных крыльях.

Ключевые слова: стреловидные крылья, предкрылки, профиль крыла.

На стреловидных крыльях транспортных самолетов по размаху крыла применяют различные профили. В корневой части крыла используют более толстые профили с большим относительным радиусом носика. Для удовлетворительного решения вопросов интерференции между крылом и фюзеляжем профилю крыла часто придают отрицательную кривизну. В концевой же части такого крыла ставят более тонкие профили, имеющие положительную кривизну и более острый носик.

Для повышения $c_{y\text{без}}$ на взлете и заходе на посадку на транспортных самолетах нередко применяют механизацию по передней кромке в виде предкрылков, носовых щитков и т. п.

Предкрылок, в случае расположения его вдоль всего размаха крыла, охватывает сечения, составленные из различных профилей [Лигум, 1988].

Основными геометрическими параметрами, влияющими на эффективность предкрылков, как известно, являются угол установки предкрылка по отношению к хорде профиля, а также положение задней его кромки, определяющее размер щели между предкрылком и основной частью профиля крыла [Степанов, 1997].

В публикациях, посвященных анализу и расчету эффективности предкрылков, геометрия профиля является, как правило, фиксированной [Бюшгенс, 1999]. Авторам не известны работы, в которых сравнивалась бы эффективность предкрылков в системе профилей, применяемых в различных сечениях стреловидного крыла.

На моделях двух прямоугольных идентичных отсеков ($\lambda_{эф}=3,5$), профили которых соответствовали профилям, применяемым в корневой (профиль № 1) и концевой (профиль № 2) частях стреловидного крыла, анализировалось влияние установочных параметров предкрылка $\delta_{пр}$ и $\bar{l}_{пр}$ на основные аэродинамические

характеристики c_y , c_x , m_z .

Предкрылки устанавливались одновременно с двухзвенным закрылком по задней кромке крыла, параметры которого приведены в [Бюшгенс, 1999]. На рис. 1, а и б представлены схемы установки предкрылков, а в табл. 1 – основные геометрические данные профилей и предкрылков.

В результаты испытаний внесены поправки на индукцию трубы, неравномерность поля скоростей и подвеску. Влияние шайб определено тарировочными испытаниями и исключено из сопротивления модели.

Таблица 1 – Геометрические данные профилей и предкрылков

Профиль	Профиль		Предкрылок	
	относительная толщина	относительная кривизна	хорда	координаты осей вращения
	\bar{c}	\bar{f}	$\bar{b}_{пр}$	\bar{x}
№ 1	12%	0,75%	13,5%	13,8%
№ 2	10%	1,2%	14,5%	13,8%

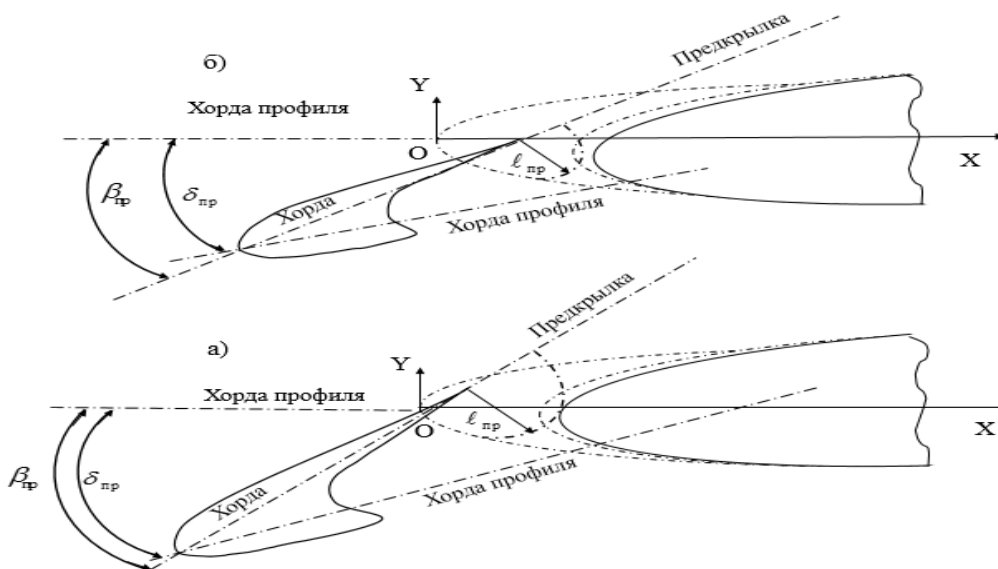


Рисунок 1 – Схема установки предкрылков на корневом (а) и концевом (б) профилях

Программой испытаний предусматривалось варьирование параметрами $\delta_{пр}$ и $\bar{l}_{пр}$, причем при изменении одного параметра другой оставался постоянным. За параметр отклонения предкрылка может быть выбран один из углов, как это показано на схеме (рис. 1). Соотношения между $\delta_{пр}$ и $\beta_{пр}$ для предкрылков, устанавливаемых на обоих исследованных профилях, приведены в табл. 2. При анализе использовался угол $\beta_{пр}$, отсчитываемый от хорды предкрылка.

По результатам испытаний были построены типовые зависимости аэродинамических коэффициентов c_y (а), c_y (c_x) и m_z (а), совмещенные для удобства анализа на одном рисунке.

Таблица 2 – Соотношения между $\delta_{пр}$ и $\beta_{пр}$

	Профиль № 1			Профиль № 2		
$\delta_{пр}$	16°30'	21°30'	26°30'	18°30'	23°30'	28°30'
$\beta_{пр}$	39°30'	44°30'	49°30'	39°30'	44°30'	49°30'

На рис. 2 представлены зависимости $c_y(\alpha)$ (рис. 2, б, в) и $c_y(c_x)$ (рис. 2, а), а на (рис. 3 – $m_z(\alpha)$), соответствующие посадочному положению закрылка.

Параметры предкрылка выбраны в этом случае оптимальными.

Как видно из рис. 2, различия в поведении этих характеристик обусловлены целиком и полностью особенностями геометрии профилей.

Наблюдаются слабые различия в поведении характеристик при $\delta_3 = 0$. С отклонением предкрылка ($\beta_{пр} \neq 0, \delta = 0$) а также с ростом угла отклонения закрылка ($\delta_1/\delta_2 = 35^\circ/25^\circ$) обнаруживается более резкое отличие.

При отклоненном закрылке как на корневом, так и концевом профилях развивается вначале постепенный (наклон кривой $c_y(\alpha)$ уменьшается) срыв потока, переходящий в полный отрыв. Видно, что с ростом угла атаки срыв наступает раньше на концевом профиле ($\alpha_{кр} = 16^\circ$), на корневом же отодвигается до $\alpha_{кр} \approx 18^\circ$.

Отклонение предкрылков восстанавливает безотрывное обтекание профилей и существенно возрастает, однако различия в поведении исходных характеристик сохраняют свое значение и для профилей с отклоненными предкрылками.

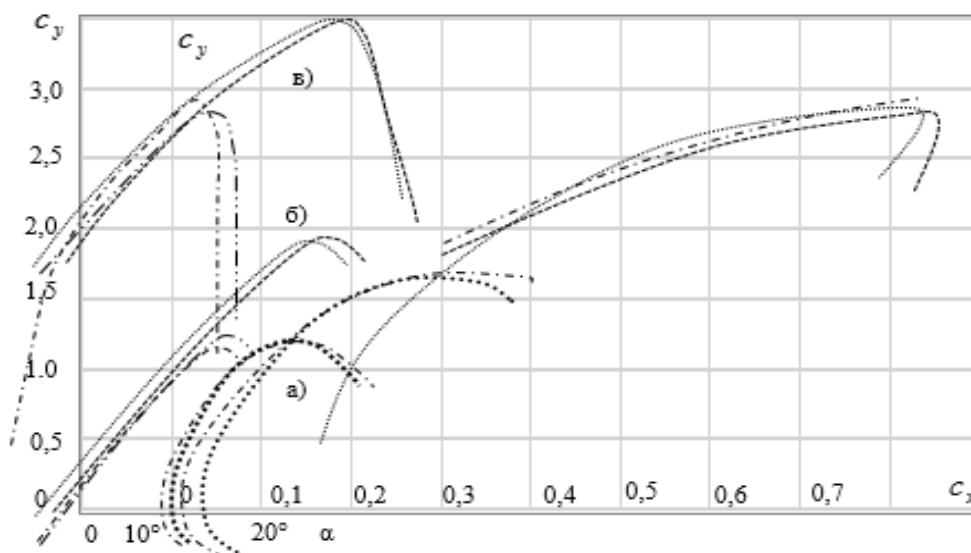


Рисунок 2 – Типовые зависимости $c_y(\alpha)$, $c_y(c_x)$, соответствующие посадочные конфигурации механизации крыла ($Re=1,01 \cdot 10^6$)

Характеристики сопротивления имеют типовой характер для механизированных профилей, однако и в этом случае влияние геометрии профиля сказывается в относительном смещении поляр: сопротивление механизированного концевого профиля несколько меньше во всем исследованном диапазоне углов атаки. Моментные характеристики (рис. 3) по

своему характеру поведения имеют вид, аналогичный несущим характеристикам (рис. 2, в). Затягивание срыва за счет отклонения предкрылка приводит к улучшению моментных характеристик механизированных профилей: выглаживанию кривых $m_z(\alpha)$ и затягиванию плавного характера их протекания до больших углов атаки ($\alpha \approx 26-30^\circ$).

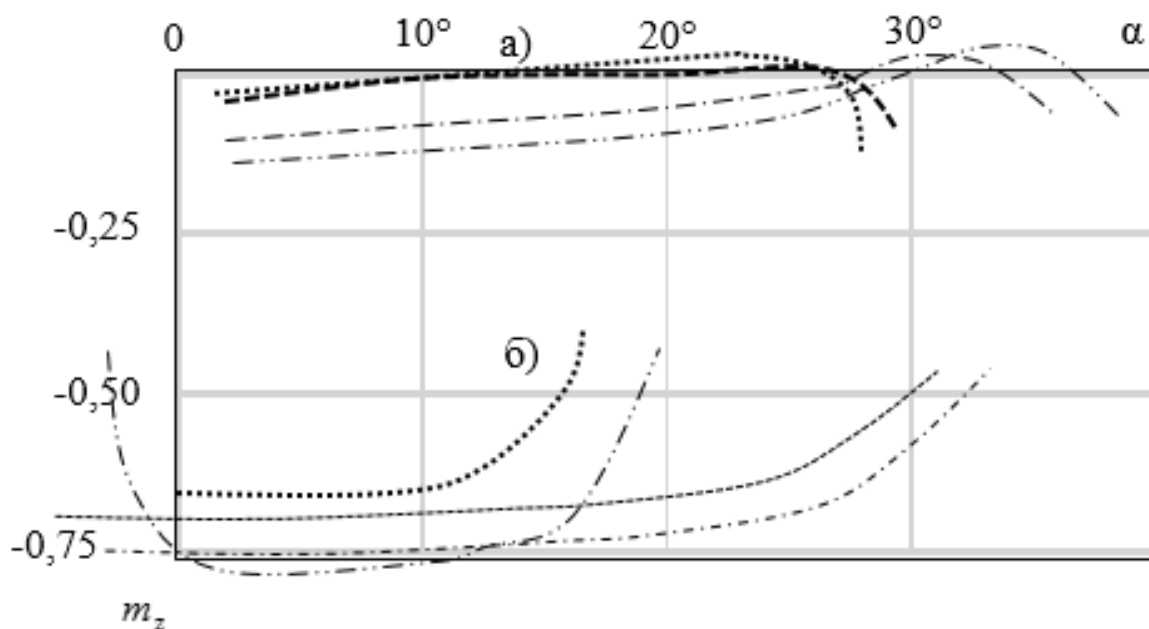


Рисунок 3 – Моментные характеристики, соответствующие посадочной конфигурации механизации крыла ($Re=1,01 \cdot 10^6$)

Для более детального выяснения влияния установочных конструктивных параметров предкрылков $\beta_{пр}$ и $\bar{l}_{пр}$ была произведена вторичная обработка экспериментальных данных и построены сводные графики.

На рис. 4 представлены совмещенные для двух профилей зависимости $c_{y_{max}}$ и $\alpha_{кр}$ в функции угла установки предкрылка $\beta_{пр}$ $\beta_{пр_{opt}}$. Поведение этих характеристик имеет типовой характер. Как видно, для обоих исследованных профилей оптимальные значения близки между собой ($\beta_{кр} \approx 43-44^\circ$), а значения $c_{y_{max}}$ и $\alpha_{кр}$ примерно одинаковы. Однако отступление от оптимального значения $\beta_{пр_{opt}}$ в сторону его уменьшения или увеличения приводит к существенным различиям в значениях $c_{y_{max}}$ и $\alpha_{кр}$.

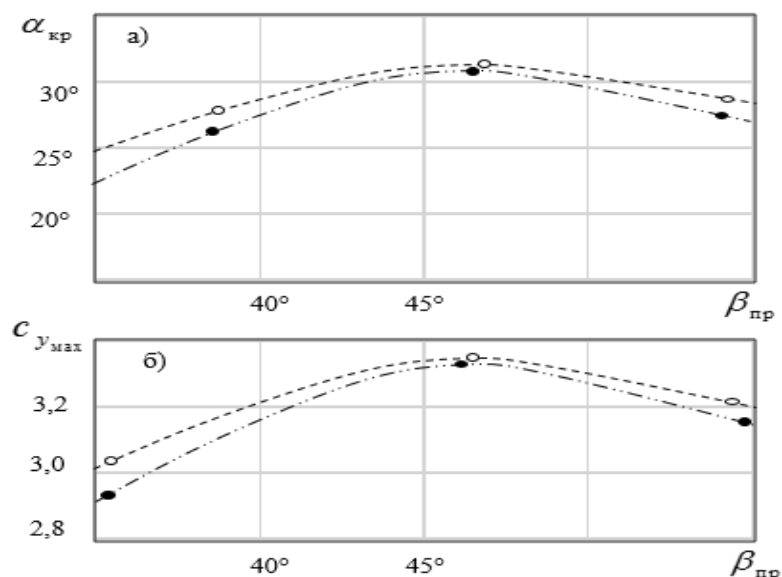


Рисунок 4 – Зависимость $c_{y_{\max}}$ и $\alpha_{\text{кр}}$, от угла установки предкрылка Профиль №1, Профиль №2

Влияние другого параметра – относительного размера щели $\bar{l}_{\text{пр}}$ – можно проследить, обратившись к итоговым графикам на рис. 5.

По данным экспериментов установлено, что на корневом профиле размер щели $\bar{l}_{\text{пр}}$ в исследованном диапазоне практически не оказывает влияние на приращения $\Delta c_{y_{\max}}$ и $\alpha_{\text{кр}}$, лишь с увеличением $\bar{l}_{\text{пр}} > 3$ значение этих параметров снижается.

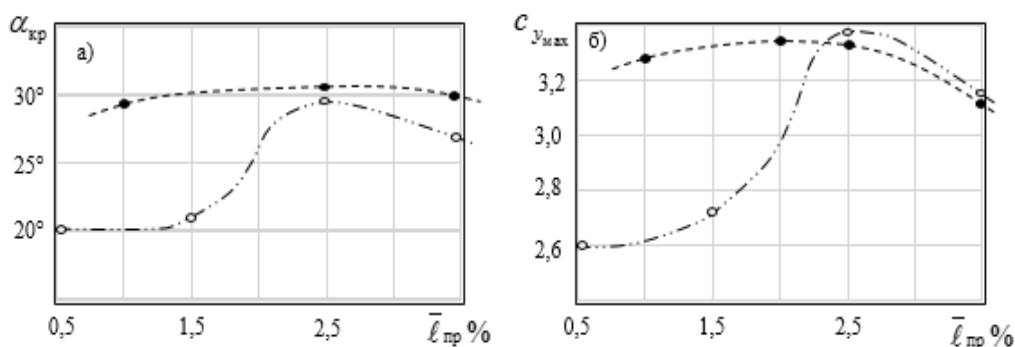


Рисунок 5 – Зависимость $\Delta c_{y_{\max}}$ и $\alpha_{\text{кр}}$ от размера щели между предкрылком и крылом

Существенное влияние параметр $\bar{l}_{\text{пр}}$ на приведенные характеристики оказывает на концевом профиле: кривые имеют резко выраженный максимум. Оптимальное значение щели для концевого профиля соответствует $\bar{l}_{\text{пр}} = 2,5\%$, уменьшение щели (зажатие щели) приводит к резкому падению величин $\Delta c_{y_{\max}}$ и $\alpha_{\text{кр}}$. Увеличение щели в этом случае также неблагоприятно.

Таким образом, в результате проведенного экспериментального

исследования были обнаружены некоторые особенности работы предкрылка на профилях, применяющихся в компоновке одного и того же стреловидного крыла. Вероятно, проектировщикам, занимающимся разработкой средств механизации стреловидных крыльев, необходимо учитывать эти особенности и подходить дифференцированно к выбору установочных параметров предкрылков в корневой и концевой частях крыла.

Литература

1. *Бюшгенс Г. С.* Динамика пространственного движения самолета / Г. С. Бюшгенс, Р. В. Студнев. – М.: Машиностроение, 1999. – 226 с.
2. *Лигум Т. И.* Аэродинамика самолета Ту-154 / Т. И. Лигум, С. Ю. Скрипниченко, Л. А. Чульский, А. В. Шишмарев, С. И. Юровский. – М.: Транспорт, 1988, 304 с.
3. *Степанов Ю. Г.* Приближенный метод расчета оптимального расположения элементов многоцелевой механизации на крыловом профиле / Ю. Г. Степанов. – Тр. ЦАГИ, вып. 1997. – 25 с.

УДК 629.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЕНИЯ КЕРОСИНА В НАЧАЛЬНЫЙ МОМЕНТ ГОРЕНИЯ В ИМПУЛЬСНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

Ившина А. А.

Саранина Е. В.

(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)*

В данной статье описывается процесс определения температуры горения керосина в начальный момент горения в импульсной камере сгорания.

Ключевые слова: температура горения, керосин, импульсная камера сгорания.

Керосин – прозрачное вещество с масляной структурой, прозрачного или светлого желтоватого цвета. Получают субстанцию при разделении многокомпонентных составляющих ректификацией или при прямой перегонке нефти. Горючая смесь жидких углеродов имеет t° кипения от $+150^{\circ}\text{C}$ до $+250^{\circ}\text{C}$. Формула керосина, его плотность, горючесть и прочие характеристики позволили заменить светильный газ и всевозможные жиры. Его начали активно использовать еще в XIX веке. Это привело к увеличению спроса на нефть, а керосиновый промысел повлиял на усовершенствование методов добычи и увеличение объемов потребления черного золота.

В настоящее время керосин используется во всех областях промышленности и транспорта и является незаменимым горючим для авиационного транспорта.

Керосин производится из нефти. Чем «качественнее» нефть, тем «лучший» керосин можно из нее получить. Поэтому состав керосина во многом зависит от того в каком месторождении добывалась нефть и какой ее качественный состав. Соответственно и температура горения керосина, произведенного из разных сортов нефти, будет разная [Гуреев, 1986].

Определим температуру горения керосина, произведенного из нефти, добытой в районе Западной Сибири [Гущин, 2007]. Для этого необходимо определить состав керосина в виде:

1) процентное содержание на горючую массу: углерод $C=85,28$; водород $H=14,12$; сера $S=2$; кислород $O=0,6$; азот $N=3$;

2) процентное содержание на сухую массу: $AC=0,3$; на рабочую массу: $WP=1$, коэффициент избытка воздуха $\alpha=1,0$, температура подогрева воздуха равна 400 C . Содержание влаги в воздухе $g_{H_2O}^B = 15\text{ г} / \text{м}^3$

Для определения рабочего состава керосина необходимо рассчитать коэффициент пересчета k с сухой массы топлива на рабочую массу.

$$k = (100 - WP) / 100 = 0,99.$$

Тогда величина A_P , характеризующая зольность топлива в рабочем состоянии, будет равна:

$$A^P = 0,99 AC = 0,30 \%$$

Для пересчета с горючей массы на рабочую коэффициент k равен:

$$k = [100 - (A_P + W^P)] / 100 = 0,99.$$

В итоге состав керосина на рабочую массу будет, % (таблица 1):

Таблица 1 – Состав керосина

C^P	H^P	S^P	O^P	N^P	A^P	W^P
84.4272	13.9788	1.98	0.594	2.97	0.3	1

Таким образом, выражение, с помощью которого можно рассчитать объем кислорода, необходимого для полного окисления горючих компонентов топлива, принимает вид:

$$V_{O_2}^{ТОП} = 0.01(1.867C^P + 5.6H^P + 0.7S^P + 0.8N^P - 0.7O^P)$$

$$V_{O_2}^{ТОП} = 0,01(1,867 \cdot 84,4272 + 5,6 \cdot 13,9788 + 0,7 \cdot 1,98 + 0,8 \cdot 2,97 - 0,7 \cdot 0,594) = 2,393 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Здесь коэффициент 0,01 учитывает переход от оценки компонентов газообразного топлива в процентах к объемным долям их содержания в 1 м³ топлива.

Далее могут быть рассчитаны расходы сухого и влажного воздуха, обеспечивающие полное сжигание топлива в теоретических условиях, т.е. при $\alpha = 1,0$. Для сухого воздуха:

$$L_0 = (1 + k)L_0^{TOP} = 11,395 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Объем влажного воздуха

$$L_0^B = (1 + 0,001244 g_{H_2O}^D) L_0 = 11,608 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Выход продуктов горения – V_0 , в общем случае горения газа в теоретических условиях (когда $\alpha = 1,0$) представляет собой сумму объемов оксидов CO_2 , SO_2 , водяного пара – H_2O , источниками которого являются продукты горения водорода, собственно водяной пар, содержащийся в самом газообразном топливе, и водяной пар, находящийся в воздухе. Азот в продукты горения поступает вместе с кислородом воздуха, а также и как возможный компонент газообразного топлива. Следовательно, можно записать:

$$V_0^{CO_2} = 0,01 \cdot 1,867 C^P = 0,01 \cdot 1,867 \cdot 84,4272 = 1,58 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad \text{диоксид углерода,}$$

$$V_0^{H_2O} = 0,01 \cdot 11,2 H^P + 0,01 \cdot 1,244 W^P + 0,001244 g_{H_2O}^B L_0 = 1,791 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad \text{водяной пар,}$$

$$V_0^{CO_2} = 0,01 \cdot 1,867 C^P = 0,037 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad \text{диоксид серы,}$$

$$V_0^{N_2} = 0,01 \cdot 0,8 N^P + 0,79 L_0 = 9,026 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad \text{азот,}$$

Общий выход продуктов сгорания:

$$V_0 = V_0^{CO_2} + V_0^{H_2O} + V_0^{CO_2} + V_0^{N_2} = 12,434 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Определение удельной теплоты сгорания керосина:

$$Q_H^P = 339 C^P + 1257 H^P - 109(O^P - S^P) - 25 W^P = 43050 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Из уравнения теплового баланса определим температуру горения керосина:

$$T_\Gamma = \frac{Q}{\sum V_i \cdot c_{pi}}$$

где :

$c_p = 2.13 \cdot 10^{-3}$ МДж/(м³·град) удельная теплоемкость для CO_2 и SO_2 ;

$c_p = 2.09 \cdot 10^{-3}$ МДж/(м³·град) – удельная теплоемкость для H_2O ;

$c_p = 1.42 \cdot 10^{-3}$ МДж/(м³·град) – удельная теплоемкость для N_2 и O_2 .

Подставляя в формулу значения для теплоты и выхода продуктов горения, получим температуру горения керосина:

$$T_\Gamma = \frac{Q}{\sum V_i \cdot c_{pi}} = \frac{43050 \cdot 10^3}{(1.58 \cdot 2.13 \cdot 10^{-3}) + (1.791 \cdot 2.09 \cdot 10^{-3}) + (9.026 \cdot 1.42 \cdot 10^{-3})} = 2162^\circ \text{K,}$$

Литература

1. Гуреев А. А. Химмотология / А. А. Гуреев, И. Г. Фукс, В. Л. Лашхи. – М.: Химия, 1986. – 368 с.
2. Гуцин С. Н. Топливо и расчеты его горения учебное пособие / С. Н. Гуцин, Л. А. Зайнуллин, М. Д. Казяев, Б. П. Юрьев, Ю. Г. Ярошенко. Под ред. Ю. Г. Ярошенко. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. – 105 с.
3. Химмотология ракетных и реактивных топлив / под ред. А. А. Браткова, М.: Химия, 1987. – 304 с.

УДК 623.746.-519

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЭКРАНОЛЕТОВ

Калинин Р. М., Камбалин И. Д., Коротеев А. В.

Агаев Р. Н., канд. техн. наук
(научный руководитель)

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

В данной статье представлен анализ применения летательных аппаратов, которые совмещают в себе возможность применения их как экранопланов, так и обычных самолетов.

Ключевые слова: экранолет, летательные аппараты, транспортное средство.

В настоящее время остро стоит вопрос об изобретении гипермобильной, не зависимой от наземной инфраструктуры, высокоэкономичной и высокоскоростной транспортной машины. Именно поэтому затронута одна из актуальных тем настоящего времени – «Анализ применения и проектирования экранолетов».

Экранолет – это такой аппарат, который летает, используя экранный эффект, а также он имеет возможность оторваться от него и лететь аналогично самолету на больших высотах.

Главным оригинальным качеством экранолета считается его способность парить на различных уровнях высоты (от 2-10 метров до 1000 тысяч метров) при точно такой же нагрузке и расстоянии, равном около 1000 километров [Преимущества экранолетов и недостатки экранопланов].

Для того чтобы создать такую машину, нужно учесть целый ряд компромиссов, так как экранолет может использовать различные режимы полета. Для полета с использованием экранного эффекта требуется большое по ширине крыло оригинального профиля и приплюснутый фюзеляж, а на

немаленькой высоте – намного уже крыло и узенький фюзеляж. Совместить эти два требования практически невозможно.

Первым проектом экранолета является «С-90» (рисунок 1), был изобретён в ОКБ Сухого в 2000 году. В нём описывается, что данная разработка является гибридным транспортным средством с двумя двигателями: воздушный винт и воздушная подушка. Предусматривалось 3 вида передвижения: парение на воздушной подушке, полет на малых высотах (экранный эффект) и полет на высоте до 4 тысяч метров. К огромному сожалению эта машина так и не вышла в свет даже в качестве опытного образца.

Вторым известным производством экранолета является летательный аппарат малых размеров полутандемной схемы «Касатка-5», который оснащен одним двигателем – воздушным винтом. Экранный эффект появляется исключительно на очень малых высотах полета, около полуметра.

Третьей реализацией экранолетов является серия аппаратов ЭКИП (рисунок 2). Данный летательный аппарат спроектирован в дисковидной форме с несущим корпусом (корпус крыло) и двумя двигателями. Один из которых является посадочным – типа «воздушная подушка» и маршевый воздушный. Данная разработка также не вышла в свет в виде опытного образца.



Рисунок 1 – Экранолет С-90

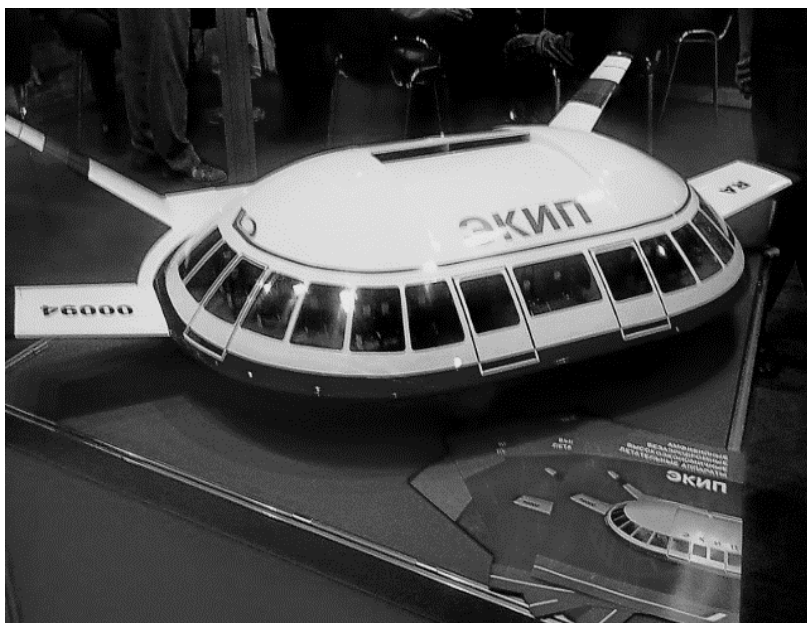


Рисунок 2 – Экранолет «ЭКИП»

Экранолеты – это такие летательные аппараты, которые способны благодаря своим аэродинамическим качествам «отрываться» от экрана и перевоплощаться в обыкновенный самолет, возвышаясь на большую высоту, что может сказать о том, что экранолет непосредственно принадлежит авиации, а эффект экрана представляет максимально экономичным режимом движения этой крылатой машины.

Важным аспектом как в современной войне, так и в мирное время является экономия времени. Необходимо в максимально короткие сроки сформировать такую транспортную магистраль, которая способна перебазировать войска в нужные районы и обеспечить их всем необходимым для успешного выполнения боевой задачи. В настоящее время перебазирование полков, их военного имущества часто оказывается долгим и сложным процессом, показатели которого: скорость, дальность и грузоподъемность может продемонстрировать экранолет [Морозов, 1973].

К основным главным достоинствам экранолета можно отнести:

- большую скорость движения и мобильность;
- большую мореходность;
- большую экономичность за счет экранного эффекта;
- независимость от наземной инфраструктуры;
- многорежимность полета: перемещение над поверхностью (вода, грунт и т.д.), эффект экрана, полноценный полет;
- высокую надежность и безопасность;
- повышенную грузоподъемность.

В свою очередь к недостаткам можно отнести:

- сложность в производстве;

– сложность в обслуживании.

В первом десятилетии XXI века американские конструкторы компании Boeing начали разработку по созданию новейшей машины Pelican ULTRA (огромный многогабаритный транспортный летательный аппарат) (рисунок 3). Разработчикам предлагалось оснастить его прямоугольным крылом и развитым хвостовым оперением. Фюзеляж имел форму, сопоставимую с прямоугольником. Согласно плану, Pelican имеет невероятно большие физические размеры при простой аэродинамической схеме. Его размах крыла в разработке достигает 152 м, при всей длине летательного аппарата 122 метра. Для того чтобы улучшить экранные характеристики крыла, машиностроители предложили сделать наклоненными вниз его концевые части, что позволит улучшить обтекание несущей поверхности и увеличить полезную нагрузку. Заднюю часть кромки крыла отдали под развитую механизацию, которая облегчит взлет и посадку такой немаленькой машины на аэродромах.

Перспективный экранолет может взять на борт до семнадцати танков M1 Abrams. Скорость достигает 460 км/ч на высоте, не превышающей 20 м над поверхностью. А при полете на высоте примерно 6000 м скорость равна 725 км/ч. Протяженность полета на эффекте экрана составляет – 16000 км, а на высоте – 10400 км [Topwar.ru].

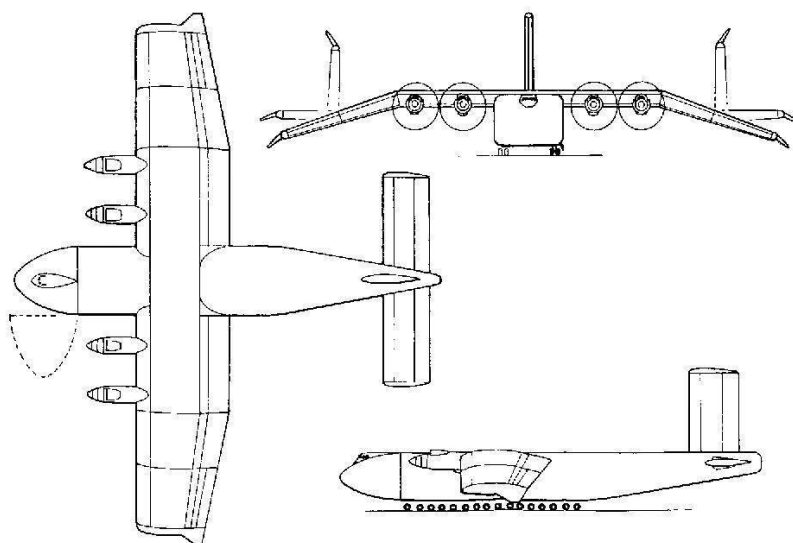


Рисунок 3 – Boeing Pelican Ultra

В Центральном Аэрогидродинамическом Институте (Московская область, г. Жуковский) разрабатывают машину нового поколения – экранолет ТТС-ИС (тяжелый транспортный самолет интегральной схемы) (рисунок 4). Со слов конструкторов, его размах крыла составит порядка 96 м. Разработчиками закладывается, что данный самолет сможет поднимать грузы весом до 500 тонн и дальность полета составит примерно 6000 км. Если говорить о фюзеляже, то его нет, только центроплан, который, по сути, тоже крыло. В настоящее время испытывают только модель экранолета в аэродинамической трубе. Данный

экранолет может встать на вооружение не раньше середины 2030-х годов [Arms-expo.ru].

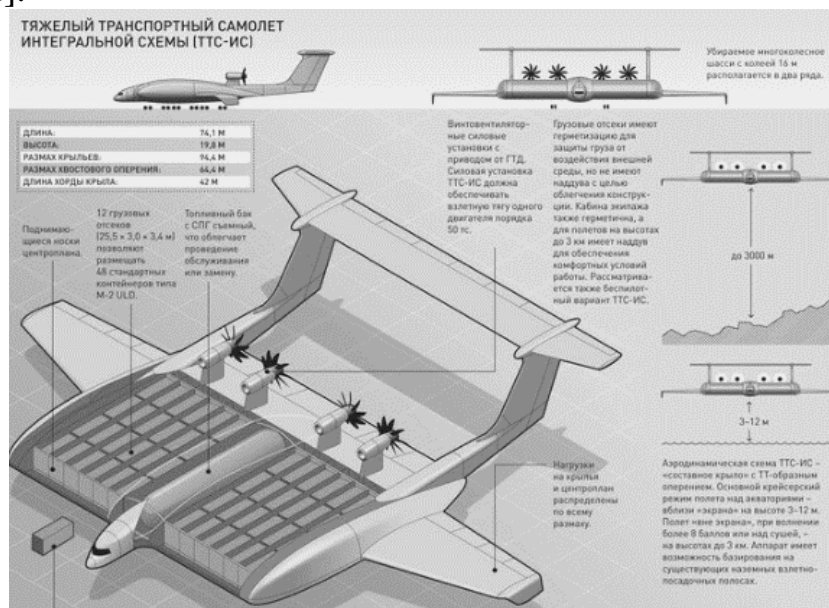


Рисунок 4 – Экранолет ТТС-ИС

Стоит заметить, что рассмотренные выше воздушные судна являются пилотируемыми, а что, если придумать машину, способную выполнять все эти задачи практически без вмешательства человека.

Первым полноразмерным образцом разведывательно-ударного отечественного беспилотника на воздушной подушке служит «Чирок» (рисунок 5), представленный 23 января 2015 года. В настоящее время данная разработка беспилотного летательного аппарата подготавливается к испытаниям. Отметим, что машина не имеет подобных аналогов в мире, так как беспилотники на воздушной подушке серийно не изготавливаются.



Рисунок 5 – «Чирок»

«Чирок» – машина двойного предназначения, спроектированная Московским научно-исследовательским радиотехническим институтом. В военных целях его можно применить для ведения разведки, а также работать на передовой в качестве ударного беспилотного летального аппарата. По планам конструкторов предполагается полет на высоте 6 километров с перевозкой бомб различного типа, а также ракет и высокоточных.

А для гражданской авиации беспилотный летательный аппарат (БПЛА) сможет выполнять целый ряд задач для оценки и наблюдения разных ситуаций: мониторинга пожарной ситуации в лесах, районах стихийных бедствий, обстановки на дорогах, патрулирования территорий.

Главным отличительным признаком «Чирка» является – нестандартная конструкция шасси и силовая установка (рисунок 6), позволяющая на старте поднять воздушную подушку над землей, а затем перейти в другой режим и обеспечить набор высоты.



Рисунок 6 – Силовая установка «Чирка»

Максимальная взлетная масса – до 700 кг;

Полезная нагрузка – до 300 кг;

Дальность полета – до 2500 км;

Высота полета – 6000 м.

Размах крыла – 10 м.

В настоящее время остро стоит проблема о быстрой доставке грузов, особенно это затрагивает Северные регионы нашей большой страны. И необходимо создавать новые перспективные летательные аппараты с большой экономией топлива и малой работы человека на ней. Советские наработки как морально, так и физически уже изношены. Так же применение беспилотных экранолетов сможет вывести авиационную технику на новый уровень. В дальнейшем планируется создать в России новую уникальную транспортную систему.

Таким образом, в ходе анализа, можно открыто заявить о том, что данный вид транспорта необходим и перспективен в использовании. Очень высока его эффективность использования в военной и гражданской авиации.

Как мы наблюдаем, даже на сегодняшний день интерес к экранолетам не пропал. Такие фирмы как «Boeing» готовы к созданию подобных летательных аппаратов, но и не только они разрабатывают новые перспективные машины, которые будут помогать человеку во многих его проблемах.

Можно открыто сказать, что время беспилотных экранолетов только начинается, а мы, молодое поколение, приложим все свои силы и знания, чтобы эти машины поднялись в воздух, перевозили грузы и людей, приносили огромную пользу человечеству.

Литература

1. Морозов В. П. Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов с учетом экономической эффективности / В. П. Морозов. – М.: Машиностроение, 1973. – 127 с.
2. Преимущества экранолетов и недостатки экранопланов [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://olymp.as-club.ru/publ/arkhiv_rabot/odinnadcataja_olimpiada_2013_14_uch_god/istoriko_issledovatelskaja_rabota_preimushhestva_ekranoletov_i_nedostatki_ekranoplanov_sozdanie_sobstvennogo_proekta_ekranoleta/32-1-0-1073 (дата обращения: 21.10. 2020)
3. Arms-expo.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.arms-expo.ru/news/novye-razrabotki/spetsialisty-fgup-tsagi-nachali-razrabatyvat-kontseptsiyu-mezhkontinentalnogo-ekranoplana-/> (дата обращения: 21.10. 2020)
4. Topwar.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://amp.topwar.ru/35114-proekt-sverhtyazhelogo-samoleta-ekranoplana-boeing-pelican-ultra-ssha.html> (дата обращения: 21.10. 2020)

УДК 62.631.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТИВНОГО ТОПЛИВА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Карнаухов В. И., Мешкова Е. М.

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

Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)

Лаборатория горюче-смазочных материалов (ГСМ) проводит измерения ограниченного и точно установленного перечня показателей, используя при этом поверенное или аттестованное приборное, или вспомогательное оборудование,

средства измерения и актуализированные стандартные методы испытаний ГСМ. Все операции, которые необходимо выполнить при испытании проб топлива, и их последовательность четко установлены в методах испытания продукта. При выполнении испытаний авиационных горюче-смазочных материалов определяются их состав, физико-химические свойства, а также некоторые условные показатели, в той или иной степени характеризующие поведение этих продуктов при эксплуатации авиационной техники.

Ключевые слова: топливо, фракционный состав, плотность, вязкость, низкотемпературные свойства, коррозия.

Авиационное топливо должно обладать высокой стабильностью, т. е. сохранять свои эксплуатационные свойства в условиях транспортирования, хранения и применения. Стабильность топлив определяется в первую очередь их физико-химическими свойствами, такими как плотность, вязкость, фракционный состав, наличие примесей и т. д. [Коняев, 2003].

Плотностью называется масса вещества m , заключенная в единице его объема. Известно, что плотность вещества изменяется с изменением температуры. Поэтому для получения сравнимых результатов плотность определяют при одной и той же температуре или результаты определений, полученные при разных температурах, приводят к стандартным условиям.

Точное значение плотности необходимо знать при определении массового количества нефтепродукта по его объему или для обратного пересчета при поступлении нефтепродукта на склад ГСМ или на заправку ВС. От плотности зависит объемная теплота сгорания топлива, т.е. его энергетические характеристики. Плотность топлив определяют несколькими методами: ареометром (ГОСТ 3900), гидростатическими весами, пикнометром плотномером (автоматический прибор для измерения плотности) (ASTM D 4052). Самым простым способ определения плотности топлив – ареометрический и плотномером.



Рисунок 1 – Определение плотности ареометром

На рисунке 2 приведена лабораторная установка для определения плотности плотномером. На дисплее отображается величина плотности топлива.



Рисунок 2 – Определение плотности плотномером

Важной характеристикой топлива является его испаряемость. Испаряемостью жидкости называется способность ее переходить в газообразное состояние [Некипелов, 1986].

Она является одной из важнейших эксплуатационных характеристик, так как влияет на процессы смесеобразования и горения, потери топлива при высотных полетах, образования паровых пробок в топливной системе. Испаряемость оценивается двумя показателями: фракционным составом и давлением насыщенных паров. Характеризовать испаряемость жидкости сложного состава можно фракционным составом, т. е. предельными температурами выкипания определенных объемных долей (фракций). При этом температура начала кипения указывает на присутствие в топливе легких фракций и характеризует «высотность» топлива. Использование топлив с низкой температурой начала кипения приводит к тому, что в топливной системе образовывается большое количество паровых пузырьков. Наиболее интенсивное выделение паровоздушных пузырьков и образование паровоздушных пробок будет происходить при повышении температуры топлива и понижении давления при работе двигателя на большой высоте.

Температура выкипания 10 % топлива характеризует его пусковые свойства. Чем она ниже, тем легче запустить двигатель при низких температурах наружного воздуха. Температура выкипания 50 % топлива характеризует среднюю испаряемость, оказывающую влияние на приемистость (приемистость – это свойство двигателя переходить с режима минимальной мощности (малый газ) на максимальный (взлетный) режим), прогрев и устойчивость работы двигателя. Чем ниже эта температура, тем выше испаряемость топлива и устойчивее работа двигателя. Температура выкипания 90 % топлива указывает на присутствие в топливе тяжелых, трудно испаряющихся фракций. Чем она ниже, тем полнее испарение топлива и равномернее горение. Температура конца кипения топлива (она различна, для различных фракций) влияет на полноту сгорания и на парообразующую способность топлива. Повышение содержания тяжелых фракций может привести к снижению мощности, экономичности и

нарушению нормального режима работы двигателя. Фракционный состав топлив определяют по ГОСТ 2177.

Прибор АРН-ЛАБ-11 предназначен для определения фракционного состава топлива. Прибор полностью автоматизирован. В приборе имеется система оптимизации параметров нагрева по четырем точкам, встроенный компрессорный криостат с программным управлением.



Рисунок 3 – Автоматический аппарат для определения фракционного состава АРН-ЛАБ-11

При определении фракционного состава проба помещается в перегонную колбу аппарата, устанавливается датчик температуры и другие элементы. Вся необходимая информация выводится на дисплей (рис. 4).



Рисунок 4 – Информация дисплея

Фракционный состав может определяться вручную с помощью прибора АРН-ЛАБ-03. В приборе для удобства подсвечивается приемный мерный цилиндр, охлаждающая ванна выполнена из нержавеющей стали. Установка имеет усиленный стальной корпус. Для удобства имеется регулятор высоты стола. Прибор имеет безопасную систему нагрева с низковольтным нагревателем.



Рисунок 5 – Прибор АРН-ЛАБ-03

Вязкость топлив определяют по ГОСТ 33. Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению частиц под воздействием внешних сил [Аксенов, 1965].

Вязкость – это внутреннее трение между частицами жидкости, обусловленное молекулярным сцеплением и обменом количества движения. Кинематическая вязкость топлив определяется с помощью капиллярного вискозиметра и термостата по времени истечения определенного объема топлива из пузырька вискозиметра через капилляр под действием силы тяжести. От вязкости в ряде случаев зависят противоизносные свойства топлив. Вязкость углеводородов, входящих в состав топлив, значительно изменяется с изменением температуры.



Рисунок 6 – Термостатирующая баня для определения вязкости

Топливо, являясь сложной смесью углеводородов, кристаллизуется при охлаждении не при постоянной температуре, как однородные жидкости, а постепенно, по мере понижения температуры. Вначале кристаллизуются вещества с высокой температурой замерзания, затем с более низкой. Температура начала кристаллизации топлива зависит от концентрации в нем высокозастиывающих углеводородов. Чем больше концентрация высокозастиывающих углеводородов, тем выше температура, при которой происходит выпадение кристаллов. Определение температуры начала кристаллизации топлив проводится в специальном приборе по ГОСТ 5066 метод Б.



Рисунок 7 – Определение температуры начала кристаллизации

Определение температуры начала кристаллизации проводится с помощью прибора Кристалл-20.



Рисунок 8 – Результат определения температуры начала кристаллизации на Кристалл-20

Аппарат обеспечивает перемешивание пробы в процессе испытания, охлаждение пробы, фиксацию всех переходных процессов.

Таким образом, определение характеристик топлива с использованием лабораторного анализа является важной составляющей обеспечения безопасности полетов.

Литература

1. *Аксенов А. Ф.* Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости / А. Ф. Аксенов. – М.: Транспорт, 1965. – 90 с.
2. *Коняев Е. А.* Авиационные горюче-смазочные материалы / Е. А. Коняев, М. Г. Голубева. – М.: МГТУ ГА, 2003. – 31 с.
3. *Некипелов Ю. Г.* Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости / Ю. Г. Некипелов. – Киев.: КИИГА, 1986. – 37 с.

УДК 623.74

ОБЗОР МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Коптев М. Г., Красников А. О.

Лесков В. В.

(научный руководитель)

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

В статье рассматриваются методы неразрушающего контроля силовых установок летательных аппаратов на авиационном ремонтном заводе. Приведен обзор современных дефектоскопов, рекомендованных к применению в войсках.

Ключевые фразы: неразрушающий контроль, дефектоскопия, авиационная техника, дефект.

Неразрушающий (дефектоскопический) контроль введен в технологию обслуживания авиационной техники как средство предотвращения аварий и катастроф летательных аппаратов (ЛА) по причине разрушения высоконагруженных деталей и узлов из-за развития в них усталостных трещин (скрытые, поверхностные, сквозные), коррозионных повреждений и других дефектов сплошности материала. Несмотря на то, что технологии в создании новых материалов шагнули далеко вперед и предполагают реализацию назначенного ресурса, исключить возможность возникновения дефекта нельзя и вопрос контроля диагностики состояния материалов остается открытым. Неразрушающий контроль (НК) – один из факторов безопасной эксплуатации авиационной техники (АТ) и представляет собой совокупность методов контроля надежности свойств и параметров исследуемого объекта, не требующие вывода объекта из эксплуатации либо его демонтажа. Существующие в настоящее время методы НК предоставляют возможность

решать определённые задачи по обнаружению дефектов на ранней стадии их развития.

Применение средств дефектоскопии на различных этапах эксплуатации АТ обеспечивает:

- полную выработку назначенного и межремонтного ресурсов АТ и их обоснованное увеличение при сохранении заложенного уровня надёжности;
- повышение достоверности определения технического состояния высоконагруженных деталей;
- снижение интенсивности отказов, предотвращение лётных происшествий;
- слежение за развитием в процессе эксплуатации ЛА допустимых несплошностей материала и прогнозирование на этой основе работоспособности деталей и узлов;
- уменьшение потерь материальных ценностей, уменьшение простоя ЛА, увеличение в единицу времени возможных самолёто-вылетов путём предотвращения разрушения деталей и сокращения связанных с этим ремонтных работ.

Необходимо учитывать, что силовые установки летательных аппаратов – это совокупность компонентов, имеющих сложную геометрическую форму, и доступ к некоторым может быть затруднен. В таких случаях дефектоскопия – это оптимальное и удобное решение задачи обследования объектов без выведения объекта из эксплуатации.

Дефектоскопия как средство своевременного выявления признаков разрушения материала деталей и узлов и предупреждения лётных происшествий находится в поле зрения инженерного и научного сообщества. Развитие методов определения размеров, ориентации дефектов, совершенствование оборудования происходит непрерывно для последующего анализа характеристик дефектоскопического оборудования. В настоящее время вопросам неразрушающего контроля материалов и конструкций уделяется самое пристальное внимание в разных областях науки [Петин, 2016].

Дефектоскопы – приборы для определения нахождения дефектов в объектах из металлических и неметаллических материалов с применением метода (методов) неразрушающего контроля. Принципы работы дефектоскопов разных моделей будут различны, однако можно выделить ряд параметров, на основании которых можно оценить оборудование по проведению процесса диагностики определенным методом неразрушающего контроля.

Какие же характеристики необходимо учесть при выборе дефектоскопа?

Это, в первую очередь, разрешение дефектоскопа. Правильность определения размеров и расположения дефекта.

Скорость диагностики также влияет на точность определения дефекта в обратно пропорциональной зависимости.

Способ крепления прибора и степень защиты прибора от внешних факторов (температура, осадки, давление) оказывают влияние на точность показаний.

В связи со спецификой ремонтного производства контроль применяют на различных стадиях производственного процесса, однако общей является схема, представленная на рис. 1. По этой схеме контроль применяется как в качестве "входного", так и в качестве "выходного" процесса. Разделение продукции на три основных класса – безусловный брак, с исправимыми дефектами, бездефектная продукция – осуществляется на основании выбора соответствующего метода контроля, норм допустимых дефектов и технологических возможностей восстановления деталей с допустимыми дефектами.

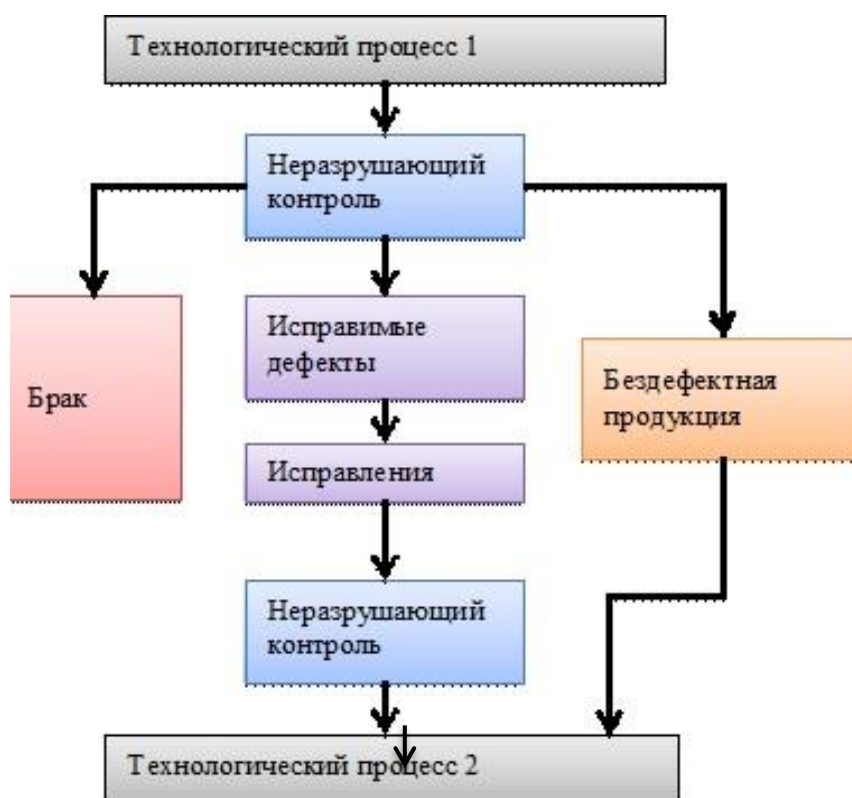


Рисунок 1 – Схема контроля качества продукции

В процессе прохождения ремонтной практики в ОАО «419 Авиационный ремонтный завод» (ОАО «419 АРЗ») применялись следующие методы неразрушающего контроля (МНК): магнитно-порошковый, капиллярный (люменесцентный, цветной метод), вихретоковый метод, оптико-визуальный метод, рентгенографический.

Вихретоковый метод – вид неразрушающего контроля, основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объекте контроля этим полем. Другими словами, он основан на возбуждении преобразователем (с одной или несколькими катушками индуктивности) в поверхностном слое

деталей вихревых токов и косвенной оценке их плотности и распределения по изменениям электромагнитного поля.

Преимущества вихретокового метода:

- возможность выявления трещин под слоем лакокрасочных покрытий, жаропрочных эмалей и окислов;
- возможность выявления малораскрытых трещин (шириной у выхода на поверхность 0,5 мкм) и трещин со сжатой полостью, заполненных или закупоренных продуктами окисления или другими веществами и не обнаруживаемых капиллярными методами;
- незначительная трудоемкость локального контроля;
- возможность контроля деталей при отсутствии наблюдения проверяемой зоны.

Недостатки вихретокового метода:

- зависимость чувствительности контроля от размеров преобразователя (датчика), в связи с чем по протяженности дефектов она ниже чувствительности магнитопорошкового и цветного методов контроля;
- отсутствие наглядности результатов контроля;
- как правило, сложность определения характера обнаруженного дефекта;
- высокая трудоемкость контроля накладным преобразователем больших по площади поверхностей [Зацепин, 1969].

Приборы, применяемые в ОАО «419 АРЗ»: вихретоковые дефектоскопы ВДЦ-2, ВДЦ-3, Константа ВД1. Современные средства НРК, рекомендуемые к применению взамен устаревших: дефектоскоп микропроцессорный **ВД-10А** (с полным комплектом сменных датчиков) (рис. 2).



Рисунок 2 – Дефектоскоп микропроцессорный ВД-10А

Опико-визуальный метод. Опико-визуальный контроль выполняют путем наблюдения деталей в видимом свете с применением оптических или опикоэлектронных приборов, способных передавать изображения. Он используется для обнаружения остаточной деформации деталей, механических и коррозионных поражений их поверхности, повышенного износа, прогаров,

крупных трещин, забоин, изломов, пробоин, нарушений сплошности защитных покрытий, наличия течи горючесмазочных материалов и т.д.

Техническая эффективность оптико-визуального контроля зависит от ряда субъективных факторов: разрешающей способности зрения, продолжительности рассматривания объекта, опыта работы, степени усталости контролера, а также от объективных свойств дефекта: его яркости, контраста, угловых (или линейных) размеров и резкости контуров. Как правило, с помощью оптических приборов глазом воспринимаются дефекты, имеющие оптический контраст с фоном более 5 % и угловой размер не менее 1'.

Оптико-визуальный контроль применяют:

– для контроля опасных участков обшивки, доступных элементов конструкций или поверхности демонтированных деталей;

– для контроля деталей, сварных соединений и силовых элементов конструкций в труднодоступных зонах самолета, то есть, для проверки объектов, скрытых элементами конструкций или заметно удаленных от контролера;

– для обнаружения дефектов и их анализа при магнитопорошковом, цветном или другом виде контроля.

Оптико-визуальный метод не обеспечивает высокую вероятность обнаружения мелких трещин и по эффективности, в том числе по чувствительности и по достоверности результатов, уступает вихретоковому, ультразвуковому, магнитопорошковому и цветному методам контроля. Однако при обнаружении крупных дефектов (пробоин, прогаров, остаточной деформации и разрушения деталей и т.д.) в труднодоступных зонах конструкций он во многих случаях обеспечивает наиболее эффективный контроль. Современные средства НРК, рекомендуемые взамен устаревших: жесткий эндоскоп Ø 5,5 (модель 5.5-400-90), жесткий эндоскоп Ø 7 (модель 7.0-440-75) (рис.3), гибкий эндоскоп Ø6 (модель 043-150), гибкий эндоскоп Ø8 (модель 046-200), поясной осветитель к гибким и жестким эндоскопам ОКД-03-02, видеоэндоскоп ТСГ 6-1,5-2-В, видеоэндоскоп ТСГ 8-2,0-2-В.



Рисунок 3 – Жесткий эндоскоп Ø 5,5; Ø 7

Капиллярный цветной метод контроля. Капиллярный цветной метод контроля основан на явлении капиллярного проникновения в полости дефектов окрашенной в красный цвет жидкости. Дефекты выявляются в виде красных индикаторных рисунков после нанесения на поверхность проверяемых деталей проявителя (краски или суспензии). Индикаторные рисунки (линии, точки, сетки и т.д.) выделяются на фоне проявителя и обнаруживаются контролером –

дефектоскопистом. Метод применяется для обнаружения трещин, растрескивания, межкристаллитной коррозии и других поверхностных дефектов преимущественно на деталях из немагнитных материалов. В ряде случаев он может быть использован для контроля деталей из ферромагнитных материалов, которые из-за размеров, формы или отсутствия подходов не могут быть намагничены до требуемой напряженности магнитного поля, в необходимом направлении или размагничены.

Основные преимущества капиллярного цветного метода контроля:

- высокая чувствительность процесса контроля;
- простота технологии контроля и вследствие этого низкая вероятность ее случайных нарушений и возможность быстрой подготовки специалистов;
- универсальность основных технологических операций при контроле деталей разной формы из различных материалов;
- наглядность результатов контроля, возможность их документирования путем фотографирования;
- возможность точно устанавливать место расположения дефекта, направление его распространения, протяженность и иногда характер;
- длительная сохраняемость индикаторных рисунков дефектов, выявленных красной проникающей жидкостью «К» и белой проявляющей краской «М».

Основные недостатки капиллярного цветного метода контроля:

- возможность выявления только открытых поверхностных дефектов со свободной полостью;
- необходимость удаления лакокрасочных покрытий и тщательной предварительной очистки поверхности;
- высокая трудоемкость контроля (с учетом предварительных операций);
- большая продолжительность процесса контроля (с учетом предварительных операций – до 1...2 ч);
- снижение достоверности контроля при повышенной (более 50 °С) и пониженной (ниже + 10 °С) температуре, а также потолочных зон и деталей, находящихся в момент контроля под воздействием сжимающих рабочих или значительных остаточных напряжений;
- необходимость соблюдения правил личной и пожарной безопасности.

Люминесцентный метод: основан на регистрации контраста люминесцирующего видимым излучением следа на фоне поверхности контролируемого объекта в длинноволновом ультрафиолетовом излучении [Сайфутдинов, 2008]. Прибор, применяемый в ОАО «419 АРЗ»: дефектоскоп для контроля деталей люминесцентным порошковым методом ДС-1М.

Цветной метод: основан на регистрации контраста цветного индикаторного следа на фоне поверхности контролируемого объекта в видимом

излучении. Прибор, применяемый в ОАО «419 АРЗ»: дефектоскоп для контроля деталей методом цветной дефектоскопии ДМК-4. Современные средства НРК, рекомендуемые взамен устаревших: красная проникающая жидкость «К» (ТУ 2332-014-73057924-2004) и белая проявляющая краска «М» (ТУ 2332-014-73057924-2004).

Магнитнопорошковый метод: основан на притяжении частиц магнитного порошка силами неоднородных магнитных полей, возникающих над дефектами на поверхности намагниченных деталей, изготовленных из ферромагнитных материалов. В этих зонах образуются индикаторные рисунки в виде скоплений частиц порошка, которые визуальнo обнаруживает дефектоскопист. Метод предназначен для обнаружения дефектов в виде поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности и дефектов физико-механической структуры материала деталей и узлов.

Основные недостатки магнитопорошкового метода:

- необходимость удаления лакокрасочного или другого защитного покрытия в случае контроля на предельно высокой чувствительности.
- затрудненная расшифровка результатов контроля деталей и узлов, изготовленных из сталей с неоднородной магнитной структурой (из-за образования в зонах контроля ложных дефектов);
- низкая достоверность контроля при поиске язвенной и межкристаллитной коррозии и мелкого растрескивания материала;
- низкая техническая эффективность метода при обнаружении трещин на выступающих гранях шлицевых соединений, на вершинах зубьев зубчатых колес и в других случаях, когда детали не могут быть намагничены до требуемой напряженности магнитного поля в необходимом месте и направлении.

Приборы, применяемые в ОАО «419 АРЗ»: магнитные дефектоскопы У-2464-85, У-601, МД-М; приборы ПКР-1, ИМП-6, ИМАГ-400Ц. Современные средства НРК, рекомендуемые взамен устаревших: портативный магнитопорошковый дефектоскоп МДМ-2 с автономным питанием (рис. 4), портативный электромагнит КУ-140 с автономным питанием для магнитопорошкового контроля (рис. 5), прибор контроля размагниченности деталей – микротесламетр МФ-24ФМ (рис. 6), черный магнитный порошок «МИНК-070М» для магнитопорошкового контроля ТУ 2379-001-73527608-2004 [Афанасьев, 2011].



Рисунок 4 – Портативный магнитопорошковый дефектоскоп МДМ-2



Рисунок 5 – Портативный электромагнит КУ-140



Рисунок 6 – Микротесламетр МФ-24ФМ

Рентгенографический метод: основан на анализе параметров проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом.

Основные преимущества рентгенографического метода:

- возможность обнаружения внутренних скрытых дефектов материала и определения взаимного положения внутренних конструктивных элементов обследуемых сложных агрегатов, приборов без их разборки, в том числе регистрации по снимкам изображений отдельных частей деталей или фрагментов (выпавших, разрушившихся, отвинтившихся и т.п.).

- возможность определять характер, границы, конфигурацию дефектов;
- документальность результатов контроля.

Недостатки рентгенографического метода:

- необходимость двустороннего подхода к проверяемым объектам: с одной стороны – излучатель, с другой – кассета с рентгеновской пленкой;
- низкая производительность (время просвечивания до нескольких десятков минут, затраты на фотообработку пленок и др.);

- высокая стоимость контроля, обусловленная применением при контроле серебросодержащей пленки;
- ограниченные возможности по обнаружению усталостных, шлифовочных и других малораскрытых трещин;
- необходимость обеспечения мер радиационной безопасности, специальной подготовки и допуска к работе специалистов.

Приборы, применяемые в ОАО «419 АРЗ»: рентгеновский аппарат РУМ-4.

Методы неразрушающего контроля не являются универсальными и выделить какой-то один метод невозможно, каждый из них обладает своими достоинствами, недостатками, ограничениями в применении. Каждый из них может быть использован наиболее эффективно для обнаружения определённых дефектов и наилучшие результаты достигаются при комплексном использовании различных методов.

Современные разработки позволяют значительно повысить надёжность диагностики и обнаруживать проблему контроля состояния различных элементов конструкции ЛА. Своевременное и достоверное определение наличия, размеров, конфигурации дефектов исключительно необходимо для оценки остаточного ресурса, для планирования и выбора технологии восстановления поврежденного участка элемента конструкции ЛА.

Литература

1. *Афанасьев В. Б.* Современные методы неразрушающего контроля / В. Б. Афанасьев, Н. В. Чернова // *Успехи современного естествознания.* – 2011. – № 7 – С. 73-74
2. *Зацепин Н. Н.* Исследование магнитного поля вихревых токов над поверхностными дефектами / Н. Н. Зацепин // *Дефектоскопия*, 1969, № 4, С. 104-112.
3. *Петин С. В.* Обзор методов дефектоскопии при обследовании трубопроводов / С. В. Петин, В. Г. Сидоренко. // *Молодой ученый.* – 2016. – № 2 (106). – С. 194-199.
4. *Сайфутдинов С. М.* Капиллярный контроль: история и современное состояние / С. М. Сайфутдинов. – М., 2008.

УДК 629.7

ПОВЫШЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА ТЯГИ ИМПУЛЬСНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПУТЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОПЛА

Луненок А. В.

Сафарбаков А. М., канд. техн. наук
(научный руководитель)

Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)

В данной статье представлен процесс повышения удельного импульса тяги импульсного двигателя путем усовершенствования сопла.

Ключевые слова: импульсный двигатель, газотурбинный двигатель, удельный импульс.

Одним из основных показателей эффективности газотурбинного двигателя является удельная тяга или удельный импульс [Нечаев, 1978]. Под этими терминами-синонимами понимается одно и то же, но в различной формулировке.

Удельная тяга – это тяга двигателя, отнесенная к секундному весовому расходу топлива:

$$P_y = \frac{P}{\dot{G}_{\text{сек}}} = \frac{P}{\dot{m}g_0},$$

где $\dot{G}_{\text{сек}}$ – секундный расход топлива, P – тяга двигателя.

Под удельным понимается импульс, который создает двигатель на один килограмм веса отброшенного рабочего тела. Чем больше удельный импульс, тем меньше топлива надо потратить, чтобы получить определённое количество движения. Теоретически удельный импульс равен скорости истечения продуктов сгорания, фактически может от неё отличаться. Поэтому удельный импульс называют также эффективной (или эквивалентной) скоростью истечения продуктов сгорания [Нечаев, 1978].

Для определения величины импульса силы от истекающих из сопла газов при импульсном сжигании топливовоздушной смеси необходимо знать их скорость. Расчет скорости истечения газа может быть произведен по уравнению энергии для адиабатного процесса.

Скорость истечения газов из сопла камеры сгорания можно определить из уравнения сохранения энергии для системы [Нечаев, 1990]:

$$i_1 + \frac{c_1^2}{2} = i_2 + \frac{c_2^2}{2},$$

где i_1 – энтальпия газа до сопла, i_2 – энтальпия газа в сечении сопла, c_1 – скорость газа на входе в сопло, c_2 – скорость газа на срезе сопла.

При течении газа в элементах авиационных установок изменение потенциальной энергии сил тяжести gH пренебрежительно мало ($gH_1 \approx gH_2$), поэтому данный вид энергии не учитывается в уравнении сохранения энергии.

Левая часть данного уравнения представляет собой полную энергию, заключенную в газовой смеси в камере сгорания. Правая – полная энергия газового потока на срезе сопла. Тогда:

$$i_1^* = i_2 + \frac{c_2^2}{2}.$$

Из этого уравнения выразим скорость истечения газов из сопла камеры сгорания для адиабатного процесса [Нечаев, 1990]:

$$c_2 = \sqrt{2 \cdot (i^* + i)} = \sqrt{2 \cdot c_p (T_{\text{сист.гор.}}^* + T_{\text{см.хол.}})} = \sqrt{2 \cdot c_p \cdot T_{\text{см.хол.}} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_{\text{атм.}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)},$$

где c_p – удельная изобарная теплоемкость, $T_{\text{сист.гор.}}$ – температура газа в импульсной камере сгорания, $T_{\text{см.хол}}$ – температура в камере сгорания перед началом горения, p_2 – давление газа на срезе сопла, $p_{\text{атм.}}$ – давление окружающей среды.

Теплоемкость, будучи теплофизическим свойством тела, зависит от процесса подвода (или отвода) энергии. В изохорном процессе вся подводимая энергия затрачивается на повышение скорости хаотического движения частиц газа, проявляющееся в изменении температуры тела. В изобарном процессе часть тепловой энергии идет на повышение температуры газа, а часть затрачивается на совершение работы по изменению объема газа. Удельная массовая теплоемкость в изобарном процессе – c_p , в изохорном процессе – c_v связаны между собой зависимостью:

$$c_p = \frac{k}{k-1} R.$$

Тогда выражение для скорости истечения газов из сопла:

$$c_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{k-1}{k} \cdot R \cdot T_{\text{см.хол.}} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_{\text{атм.}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)}.$$

В этой формуле неизвестным остается параметр p_2 – давление газа на срезе сопла. Для расчета этого давления необходимо знать температуру газа на срезе сопла T_2 , которую можно определить путем совместного решения уравнения для скорости c_2 и уравнения изоэнтропы:

$$\frac{p_2}{p_{\text{сист.}}} = \left(\frac{T_2}{T_{\text{сист.}}} \right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Так как сопло импульсной камеры сгорания сужающееся, то на срезе сопла наблюдается критический режим течения газа:

$$c_2 = a = c_{\text{кр}} \text{ и } p_2 = p_{\text{кр.}},$$

где a – местная скорость звука.

Подставив в уравнение для c_2 вместо $\frac{p_2}{p_{\text{атм.}}} = \frac{p_2}{p_{\text{кр.}}}$ его значение по уравнению изоэнтропы и разделив полученный результат на критическую скорость найдем:

$$\frac{T_2}{T_{\text{сист.}}} = \frac{2}{k+1}.$$

При таком значении температуры:

$$c_{\text{кр}} = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} R \cdot T_{\text{сист.}}}$$

Тогда величина давления газов на срезе сопла определится, если в уравнение изоэнтропы подставить значение для $\frac{T_2}{T_{\text{сист.}}} = \frac{2}{k+1}$, тогда:

$$p_2 = p_{\text{сист.}} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Для вычисления импульса силы от истекающих горячих газов необходимо определить местную скорость звука a :

$$a = \sqrt{k \cdot R \cdot T_{\text{сист.}}}$$

Зная значение местной скорости звука, рассчитывается число Маха:

$$M = \frac{c_2}{a}.$$

Зная число Маха можно вычислить полное давление на срезе сопла:

$$p_2^* = p_{\text{сист.}} \cdot \left(1 + \left(\frac{k-1}{2}\right) \cdot M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

При известных значениях полного давления и давления газовой смеси определяется относительное давление в КС:1

$$\Pi(\lambda_B) = \frac{p_{\text{сист.}}}{p_2^*}.$$

Проведем расчет параметров истечения газа при помощи таблиц газодинамических функций. Использование газодинамических функций дает возможность вести расчет течений сжимаемого газа практически так же просто, как и в случае течения несжимаемой газовой среды.

В газовой динамике наряду с числом Маха используют безразмерную (приведенную) скорость λ , которую также часто называют скоростным коэффициентом. Число λ равно отношению скорости потока в данной точке к величине критической скорости, общей для всего изоэнтропного потока, то есть:

$$\lambda = \frac{c_2}{a}.$$

Между числами M и λ существует связь в виде:

$$\lambda^2 = \frac{\frac{k+1}{2}M^2}{1 + \frac{k-1}{2}M^2}.$$

Используя значение относительного давления, рассчитывается коэффициент скорости λ :

$$\Pi(\lambda_B)^{\frac{k-1}{k}} = 1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2.$$

Отсюда выразим значение коэффициента скорости:

$$\lambda = \sqrt{\frac{k+1}{k-1} \left[1 - \Pi(\lambda)^{\frac{k-1}{k}} \right]}.$$

Из этого выражения видно, что критерий скорости зависит от относительного давления в камере сгорания.

Зная значение коэффициента скорости, рассчитывается относительная плотность потока:

$$q(\lambda) = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \lambda \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}}.$$

Для вычисления импульса силы необходимо знать расход газа из камеры сгорания G :

$$G = m_{\Gamma} \cdot \frac{p_{\text{сист.}}^*}{\sqrt{T_{\text{сист.}}^*}} \cdot F_c \cdot q(\lambda),$$

где F_c – площадь сопла камеры сгорания; m_{Γ} – коэффициент рода газа. Коэффициент рода газа можно рассчитать по формуле:

$$m_{\Gamma} = \sqrt{\frac{k}{R} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}.$$

Геометрическая площадь сопла рассчитывается по формуле:

$$F_c = \pi \cdot r^2,$$

где r – радиус сопла камеры сгорания.

Поскольку сопло всегда остается открытым, необходимо учесть значение массы газа, вышедшего через сопло:

$$m_{\text{газа}} = G \cdot t,$$

где t – время опорожнения камеры сгорания.

Заключительным этапом является расчет импульса силы. Импульс силы – величина векторная и интегральная, и значение его определяется по формуле:

$$I = F_c \cdot (p_2 - p_{\text{атм}}) \cdot \tau,$$

где F_c – площадь сопла; p_2 – давление газов на срезе сопла; $p_{\text{атм}}$ – давление окружающей среды, τ – время действия силы.

Импульс силы от истекающих газов из сопла импульсной камеры сгорания не характеризует ее совершенство. Для этого рассчитывается удельный импульс силы:

$$I_{\text{уд}} = c_2 + F_c \frac{(p_2 - p_{\text{атм}})}{G_r},$$

где c_2 – скорость истечения газа из сопла импульсной камеры сгорания; F_c – площадь сопла; p_2 – давление газов на срезе сопла; $p_{\text{атм}}$ – давление окружающей среды; G_r – расход газа из камеры сгорания.

По предложенной методике термодинамического расчета были проведены исследования влияния диаметра сопла импульсной камеры сгорания на величину удельного импульса от истекающих газов и построен график (рис. 1).

Диаметр выходного сечения сопла при импульсном горении топливовоздушной смеси будет определять расход газа из камеры сгорания и соответственно импульс тяги. Кроме того, диаметр сопла оказывает влияние на величину и интенсивность циркуляционных зон, в которых будет происходить перемешивание топливовоздушной смеси. От качества топливовоздушной смеси зависит интенсивность импульсного горения.

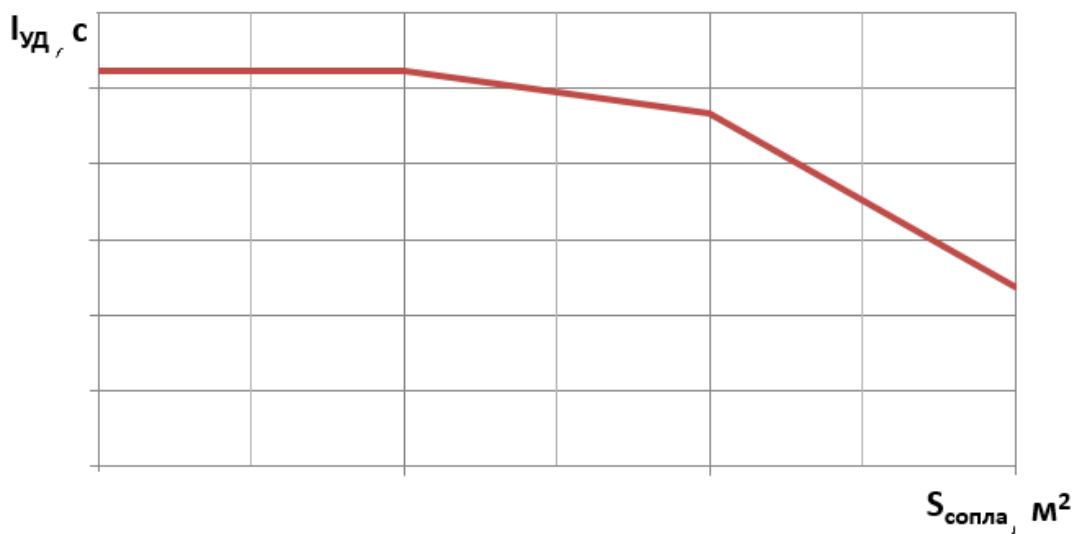


Рисунок 1 – Зависимость удельного импульса от площади сопла импульсной камеры сгорания

На рисунке 1 видно, что при увеличении площади сопла удельный импульс тяги уменьшается.

Литература

1. *Нечаев Ю. Н.* Теория авиационных газотурбинных двигателей / Ю. Н. Нечаев, Р. М. Федоров. – М.: Машиностроение, 1978. Ч. 2. – 336 с.

2. *Нечаев Ю. Н.* Теория авиационных двигателей / Ю. Н. Нечаев и др. – М.: Воениздат, 1990. – 312 с.

УДК 629.7: 614.84: 630.43

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ АВИАЦИИ ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Рафиков А. Ф.

Елизарьев А. Н.
(научный руководитель)

*Уфимский государственный авиационный технический университет
(г. Уфа)*

В работе описываются основные этапы и ключевые моменты тушения пожаров в лесах с помощью авиации МЧС России. Приведен анализ особенностей самолётов, используемых при ликвидации лесных пожаров, в частности, Бе-200ЧС и ИЛ-76П. Несмотря на всю эффективность и надёжность, они имеют ряд существенных недостатков, значительно замедляющих и удорожающих процесс тушения. Например, на взлёт расходуется значительное количество топлива, при этом существенная часть выбрасываемой огнетушащей жидкости и химических средств испаряется, не долетев до очага горения. Проводится анализ зарубежных аналогов, в частности, приводится пример схожей по техническим характеристикам машины АН-32П, используемой ГСЧС Украины в борьбе с лесными пожарами. Предложено использовать МЧС России для борьбы с лесными пожарами самолёт ИЛ-114 ввиду его универсальности.

Ключевые слова: пожарная авиация, тушение пожара, авиация МЧС России, ИЛ-114.

Лесной пожар представляет собой стихийное, неконтролируемое распространение огня по лесным площадям. Основной причиной возникновения лесных пожаров является человеческий фактор. История насчитывает множество примеров, когда стихия наносила колоссальный ущерб окружающей среде. Например, масштабные и разрушительные пожары в Сибири, которые длились с июня по сентябрь 2019 года. Площадь пожаров достигла рекордной величины в пять миллионов гектар. Использование авиации МЧС позволило замедлить процесс горения леса и, как следствие, дать наземным пожарным больше времени для устранения горения [Лесные пожары: виды и классификация].

Процесс тушения лесного пожара разделяют на несколько фаз:

- остановку распространения кромки пожара;
- локализацию пожара;
- дотушивание очагов горения, оставшихся внутри пожарища;

– окарауливание (регулярный осмотр лесной площади, пройденной огнем, и тушение в случае возникновения новых очагов пожара) [Методы и способы тушения лесных пожаров].

Во время тушения лесных пожаров при помощи авиации применяют следующие технические средства и способы:

- прекращение распространения огня путем авиаопрыскивания, проложение заградительных, задерживающих огонь полос;
- создание минерализованных полос, канав, останавливающих продвижение огня, и водоемов для тушения пожаров водой;
- применение химических веществ;
- искусственное вызывание осадков из облаков;
- тушение пожаров парашютистами-пожарными, сбрасываемыми с самолетов вблизи пожаров [Авиационные методы тушения лесных пожаров].

Противопожарные самолёты помимо тушения лесного пожара также дают возможность десантировать пожарных к очагу горения, что ускоряет процесс тушения пожара. Авиация является основным инструментом по определению объёмов охваченной пожаром площади, от чего также зависит способ тушения пожара, поскольку многие средства тушения пожаров не могут быть применены без предварительной оценки объёма охваченной пожаром площади.

В связи с этим, авиационная техника, используемая при ликвидации лесных пожаров, должна отвечать всем существующим современным техническим требованиям, чтобы результативно справляться со всеми поставленными перед ней задачами.

Основной техникой, применяемой авиацией МЧС при ликвидации лесных пожаров является Бе-200ЧС (рис.1, а) и ИЛ-76П (рис.1, б) [Пожарные самолеты и авиация в МЧС].



Рисунок 1 – Основная авиационная техника МЧС России для тушения лесных пожаров а) Бе-200ЧС; б) ИЛ-76П

Бе-200ЧС самолёт-амфибия является уникальной разработкой ТАНТК имени Г. М. Бериева. Особенностью самолёта является устройство для забора воды, позволяющее в процессе глиссирования забирать до 12 тонн воды за 12-14 секунд. Бе-200ЧС имеет возможность сбрасывать воду, как залпом, так и

частично, что положительно влияет на эффективность тушения пожара. Экипаж самолёта состоит из 2 человек. Помимо этого в самолёте установлены баки для химжидкости общим объемом 1,2 м³ [<http://www.airwar.ru/enc/sea/be200.html>].

Данное ВС успешно проявило себя за рубежом. В начале сентября 2016 года самолёты Бе-200ЧС в количестве двух единиц ликвидировали в Португалии 26 лесных пожаров, защитив от огня 13 населённых пунктов и 3 национальных парка. Также в ноябре 2016 года самолёты Бе-200ЧС участвовали в тушении лесных пожаров в Израиле, произведя за всё время 7 вылетов, как с целью ликвидации лесных пожаров, так и мониторинга лесопожарной обстановки, что позволило предотвратить распространения огня [<http://www.airwar.ru/enc/sea/be200.html>].

ИЛ-76П зарекомендовал себя отличной машиной в борьбе с лесными пожарами. Первые испытания проводились в 1990-е годы на реальных пожарах в Красноярском крае. Конструкторам удалось создать систему, позволяющую любой ИЛ-76 переоборудовать в противопожарный за 4 часа. ИЛ-76П может вместить в себя 42 тонны воды или специальной противопожарной жидкости и сбросить всё за 4 секунды с высоты 50 метров. Заполнение всей системы занимает не более 10-12 минут [ИЛ-76П; Пожарные самолеты и авиация в МЧС].

Несмотря на все достоинства этих машин, у них так же есть ряд недостатков, существенно уменьшающих эффективность борьбы с пожаром. Например, в случае расположения аэродрома или водных ресурсов вдали от местоположения самолёта расходуется значительное количество топлива при заполнении баков огнетушащим средством, а для эффективного тушения лесного пожара необходимо осуществлять вылеты каждые 10-15 минут. С целью снижения данных расходов необходим более экономичный и универсальный самолёт. Анализ позволил определить, что наиболее подходящим под эти критерии является ИЛ-114 (рис. 2).



Рисунок 2 – Внешний вид самолёта ИЛ-114

Данное воздушное судно может выполнять множество функций, полезных для тушения лесных пожаров, например:

- шасси, позволяющее садиться на необорудованные аэродромы, имеющие грунтовое покрытие, а также возле небольших водоёмов, из которых не может набирать воду Бе-200ЧС;

- установленная силовая установка, обеспечивающая высокие показатели топливной эффективности, в перспективе рассматривается возможность использования более мощной 2800 силовой установки;
- применяемое высокоэффективное крыло, которое повышает безопасность при разрушении крыла, а также снижается масса крыла;
- комплект авионики ЦПНК-114, который даёт возможность использования этого самолёта в тяжелых метеоусловиях, удовлетворяющих 2 категории по ИКАО.

Кроме того, при возможном техническом сбое или неполадке, экипаж самостоятельно может устранить неисправность благодаря тому, что на самолёте обеспечен быстрый и легкий доступ ко всем элементарным конструкциям и установкам. В процессе разработки этого самолёта системы на его борту компоновались таким образом, чтобы исключить влияние отказов одних на работу других и наоборот ИЛ-114 [ИЛ-114-300].

ИЛ-114 мог бы занимать среднюю нишу между Бе-200ЧС и ИЛ-76. Так как эти самолёты ввиду своей масштабности не могут полноценно и эффективно устранять очаг горения из-за того, что большая часть жидкости испаряется, не долетев до очага возгорания. ИЛ-114 же благодаря своей маневренности мог бы сбрасывать воду непосредственно на очаг возгорания с малой высоты. Также ИЛ-114 можно применять в превентивных мероприятиях по ограничению распространения и развития лесного пожара, например, создавать «мокрые полосы». Необходимо применять группу машин, которая, сбрасывая воду последовательно будет создавать непроходимые для пожара барьеры. Если при разработке учесть все нюансы конструкторов ИЛ-76П, то есть быстро переоборудовать грузовой самолёт в противопожарный, можно было бы учесть все нюансы и усовершенствовать систему переоборудования ВС. В будущем существует вероятность того, что ИЛ-114 сможет заинтересовать противопожарные службы иностранных государств, выйти на мировой рынок для увеличения экспорта российской техники за рубеж.

Из зарубежных конкурентов можно выделить самолёт АН-32П, применяемый для борьбы с лесными пожарами на Украине, являющийся разработкой ОКБ Антонова (рис. 3) [<https://ru.wikipedia.org/>].



Рисунок 3 – Взлёт АН-32П

Данный самолёт используется как для тушения пожаров, так и для десантирования парашютистов-пожарных. Объём баков, установленных на АН-32П, позволяет вместить до 8 тонн тушащей жидкости. Россия принимала активное участие в разработке данной машины вплоть до 1993 года. Для модернизации ИЛ-114 с целью разработки более эффективного противопожарного самолёта необходимо учесть недостатки и преимущества АН-32П [<https://ru.wikipedia.org/>; Антонов АН-32П].

Таким образом, несмотря на все плюсы и достоинства противопожарных самолётов МЧС России, им присущи и недостатки. Они являются не эффективными по части практичности, так как не весь объем воды долетает до очага пожара. Также они не могут осуществлять достаточное количество рейсов, которые способствовали облегчению тушения силами наземных противопожарных войск в борьбе с лесными пожарами. ИЛ-114 благодаря своим внешним и техническим данным мог бы максимально близко подлетать к огню, сбрасывая огнетушащие вещества в очаг пожара. Данный борт позволит разгрузить работу наземных служб и повысить эффективность тушения лесных пожаров, заняв среднюю нишу между Бе-200ЧС и ИЛ-76П, и использоваться для тушения лесных пожаров, десантирования пожарных, мониторинга лесопожарной обстановки и оценки объёма охваченной пожаром площади.

Литература

- 1.Авиационные методы тушения лесных пожаров [Электронный ресурс] – URL: <http://industrial-wood.ru/aerofotosemka/6069-aviacionnye-metody-tusheniya-lesnyh-pozharov.html> (дата обращения: 25.10.20);
- 2.АН-32П. [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD-32> (дата обращения: 25.10.20);
3. Антонов АН-32П [Электронный ресурс] – URL: <http://www.airwar.ru/enc/other/an32p.html> (дата обращения: 25.10.20).
4. Бериев Бе-200 в авиационной энциклопедии «Уголок неба» [Электронный ресурс] – URL: <http://www.airwar.ru/enc/sea/be200.html> (дата обращения: 25.10.20);
5. ИЛ-114-300 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.ilyushin.org/aircrafts/projects/6201/> (дата обращения: 25.10.20);
- 6.ИЛ-76П [Электронный ресурс] – URL: <http://aviaros.narod.ru/il-76p.htm> (дата обращения: 25.10.20);

7. Лесные пожары: виды и классификация [Электронный ресурс] – URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/lesnyie-pozharyi-osnovnyie-vidyi-i-klassifikatsiya/> (дата обращения: 25.10.20);

8. Методы и способы тушения лесных пожаров. [Электронный ресурс] – URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/metodyi-i-sposobyi-tusheniya-lesnyih-pozharov/> (дата обращения: 25.10.20);

9. Пожарные самолеты и авиация в МЧС России: основные модели и их ЛТХ. [Электронный ресурс] – URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/pozharnyie-samoletyi/> (дата обращения: 25.10.20);

10. Сибирь потухла – подводим итоги [Электронный ресурс] – URL: <https://spektr.press/sibir-potuhla-podvodim-itogi-chem-zakonchilsya-sezon-taezhnyh-pozharov-i-privedet-li-on-k-peremena-v-lesnom-hozyajstve-i-posadkami-chinovnikov/> (дата обращения: 25.10.20).

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ТОПЛИВА И ВОЗДУХА, УЧАСТВУЮЩЕГО В ПРОЦЕССЕ ИМПУЛЬСНОГО ГОРЕНИЯ ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Садовский В. В.

Сафарбаков А. М., канд. техн. наук
(научный руководитель)

Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)

Для оценки топливной эффективности импульсной камеры сгорания необходимо знать массу топлива и воздуха, участвующего в импульсном горении топливовоздушной смеси. Зная объем импульсной камеры сгорания из основного уравнения состояния газа, можно рассчитать массу воздуха и массу топлива, участвующего в горении.

Ключевые слова: импульсная камера сгорания, единичный цикл горения, сфера горения, коэффициент избытка воздуха.

Рабочий процесс импульсной камеры сгорания включает в себя фазы: наполнения камеры сгорания топливовоздушной смесью; ее горение (взрыв) и опорожнение от продуктов сгорания. Все вместе они составляют единичный цикл работы импульсной камеры сгорания. Циклы следуют друг за другом с определенной частотой. Если частота циклов большая, то наблюдается высокочастотное импульсное горение. Рассмотрим единичный цикл работы импульсной камеры сгорания.

В 1942 г. советский ученый Я.Б. Зельдович сформулировал положения теории горения и детонации газов. Теория утверждает, что взрыв газо- или паровоздушной смеси – явление не мгновенное, но протекающее с очень большой скоростью [Зельдович, 1980, с. 40-45].

В наполненной топливовоздушной смесью импульсной камере сгорания от свечи зажигания появляется электрический разряд и начинается реакция окисления топливовоздушной смеси. Скорость реакции окисления в каком-то элементарном объеме этой зоны достигает максимума – возникает горение. На границе этого элементарного объема со средой возникает фронт пламени. В начальный момент времени фронт пламени представляет собой сферу (рис. 1).

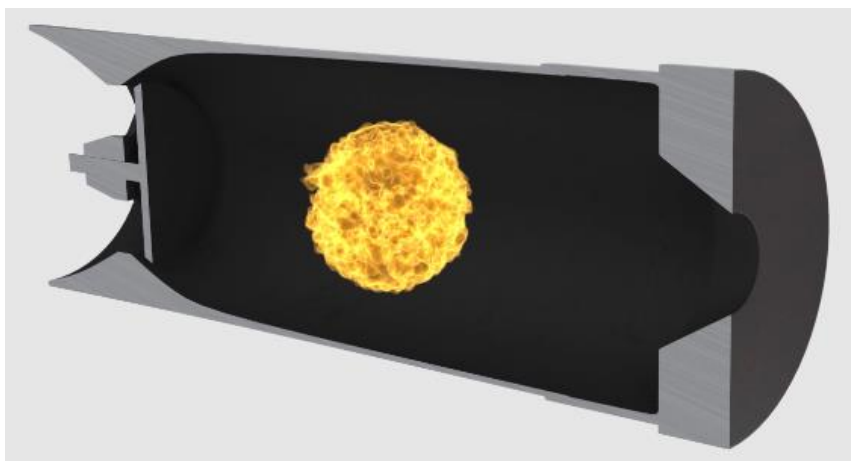


Рисунок 1 – Сфера горения топливоздушной смеси

Температура фронта пламени может достигать до $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и зависит от состава горючей смеси. На поверхности фронта пламени эта температура равна температуре самовоспламенения горючей смеси. За счет теплопроводности так же повышается температура пока еще не горящей топливоздушной смеси. Расширяющийся фронт пламени будет захватывать все большие объемы топливоздушной смеси, и температура горения будет повышаться. Расширяющийся фронт пламени будет смещать несгоревшую смесь в сторону фронтального устройства и сопла импульсной камеры сгорания.

Сферическая форма пламени будет наблюдаться до его соприкосновения со стенками камеры сгорания. За счет повышения давления при горении обратный клапан фронтального устройства закроется, и фронт пламени, представляющий собой усеченную сферу, начнет распространяться в трубе камеры сгорания только в сторону сопла, вытесняя несгоревшую топливоздушную смесь в окружающее пространство (рис. 2).

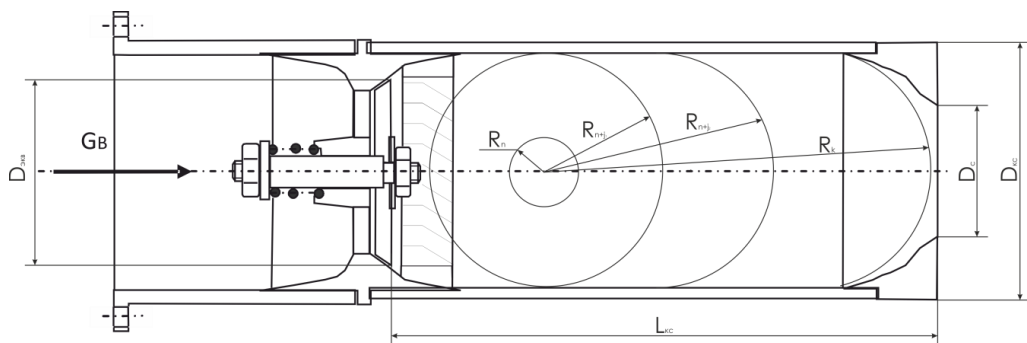


Рисунок 2 – Распространение фронта пламени в импульсной камере сгорания

Термодинамический расчет процесса горения топливоздушной смеси в импульсной камере сгорания необходимо начать с определения объема сферы горения $V_{ш}$, используя для этого геометрию камеры сгорания [Исаев, 2016, с. 16]. Так как в начальный момент времени распространение пламени представляет собой шар, то объем шара вычисляется по формуле:

$$V_{\text{ш}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3,$$

где r – радиус сферы горения.

После достижения пламени стенок камеры сгорания шар горения становится усеченной сферой (шаровым слоем), объем которой можно вычислить как сумму объема цилиндра и объема шарового сегмента. Объем цилиндра вычисляется по формуле:

$$V_{\text{цил}} = \pi \cdot R^2 \cdot l,$$

где R – радиус камеры сгорания, l – высота цилиндра.

Объем шарового сегмента вычисляется по формуле:

$$V_{\text{ш.сегм}} = \pi \cdot h^2 \left(R - \frac{1}{3} h \right),$$

где h – высота шарового сегмента, R – радиус шара.

Далее для того, чтобы вычислить объем шарового слоя в каждый момент времени, необходимо знать скорость горения топливовоздушной смеси. Скорость горения топливовоздушной смеси при импульсном горении достигает 15 м/с. Таким образом, в каждый момент времени можно вычислить объем шарового слоя, участвующего в горении топливовоздушной смеси.

Далее для определения объема воздуха и топлива в шаровом слое необходимо воспользоваться основным уравнением состояния газа [Кириллин, 1980, с. 183-220]:

$$p_{\text{нач}} \cdot V_{\text{ш.сегм}} = m_{\text{в}} \cdot R \cdot T_{\text{нач}},$$

где $p_{\text{нач}}$ – начальное давление газа в камере сгорания, R – удельная газовая постоянная, $T_{\text{нач}}$ – начальная температура газа, $m_{\text{в}}$ – масса воздуха в шаровом слое.

Из данной формулы выражаем $m_{\text{в}}$:

$$m_{\text{в}} = \rho \cdot V_{\text{ш}} = \frac{p_{\text{нач}} \cdot V_{\text{ш.сегм}}}{R \cdot T_{\text{нач}}},$$

где ρ – плотность воздуха $\rho = \frac{p_{\text{нач}}}{R T_{\text{нач}}}$, кг/м³.

Массу топлива $m_{\text{т}}$, участвующего в горении в шаровом слое, можно определить, зная соотношение участвующего в горении топливовоздушной смеси топлива и воздуха:

$$m_{\text{т}} = \frac{m_{\text{в}}}{L_0 \cdot \alpha},$$

где α – коэффициент избытка воздуха, L_0 – потребное количество воздуха для сжигания 1 кг керосина.

Известно, что для полного сгорания 1 килограмма керосина требуется 14,8 килограммов воздуха [Нечаев, 1990, с. 54-81].

Коэффициентом избытка воздуха α называется отношение действительно поданного количества воздуха $L_{\text{д}}$ теоретически необходимому L_0 :

$$\alpha = \frac{L_d}{L_0}$$

Это безразмерный коэффициент; он показывает, во сколько раз действительное количество воздуха, расходуемое на сгорание 1 кг топлива, больше или меньше теоретически необходимого количества воздуха.

При определении массы топлива, участвующего в горении, считается, что смесь стехиометрическая. Таким образом, коэффициент $\alpha=1$.

При окончательном определении массы топлива и воздуха, участвующих в горении следует учесть, что импульсное горение распространяется в виде сферы с фронтом пламени. Это означает, что процесс горения происходит только во фронте пламени. Тогда объем фронта горения можно определить вычитанием объема горения в данный момент времени и уже прогоревшего объема.

Далее, зная плотность горячего газа, определяется масса воздуха во фронте пламени и масса топлива.

Литература

1. *Зельдович Я. Б.* Математическая теория горения и взрыва / Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблатт, В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе. – М.: Наука, 1980.
2. *Исаев А. И.* Исследование процесса образования топливовоздушной смеси в импульсной камере сгорания и термодинамический расчет импульсного горения / А. И. Исаев, А. М. Сафарбаков, С. А. Ходацкий, Ю. И. Майрович // Труды МАИ. – 2016. – №91. – С. 16.
3. *Кириллин В. А.* Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – М.: Энергия, 1980. – 446 с.
4. *Нечаев Ю. Н.* Теория авиационных двигателей / Ю. Н. Нечаев и др. – М.: Воениздат, 1990. – 312 с.

УДК 629.7

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ТЕМП ИСЧЕРПАНИЯ РЕСУРСА АВИАЦИОННОГО ТРДД

Стрельников И. В.

Караваяев Ю. А., канд. техн. наук
(научный руководитель)

Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)

В данной статье описывается влияние условий эксплуатации на темп истощения ресурса авиационного ТРДД.

Ключевые слова: авиационный ТРДД, термодинамические параметры, условия эксплуатации.

Одно из неперенных условий обеспечения высокого уровня безопасности полётов заключается в установлении такого ресурса ТРДД или его деталей, в течение которого гарантируется его безопасная эксплуатация. Ресурс относится к основным показателям качества авиационного двигателя, которые характеризуют степень совершенства ТРДД и в значительной мере определяют экономическую эффективность его эксплуатации, в частности, затраты на восстановление работоспособности отдельных узлов и деталей.

К основным причинам досрочного съема двигателей с эксплуатации следует отнести [Анализ и статистика изменений]:

- попадание посторонних предметов в проточную часть ГТД;
- конструктивно-производственные недостатки;
- повышение уровня вибраций;
- усталостные разрушения рабочих лопаток;
- дефекты опор ротора двигателя;
- разрушение элементов камеры сгорания;
- коробление, оплавление или прогар лопаток сопловых аппаратов и рабочих лопаток газовой турбины;
- исчерпание длительной прочности рабочих лопаток и дисков газовой турбины.

Исчерпание длительной прочности материала конструкции объясняется, в основном, его ползучестью – процессом нарастания остаточной деформации во времени при постоянных нагрузке и повышенной температуре. Ползучесть вызывает отказ ГТД в результате разрушения или вытяжки материала рабочих лопаток сверх допустимых пределов. Темп исчерпания длительной прочности зависит от температуры материала рабочих лопаток и действующих напряжений, величина которых определяется условиями эксплуатации двигателя и состоянием элементов его проточной части.

Стратегия управления ресурсом включает способ обоснования и установления безопасного ресурса и способ эксплуатации двигателя в течение этого ресурса. На сегодня известны три стратегии [На пути к 3-й стратегии управления ресурсом]:

- стратегия № 1 – ресурс устанавливался двигателю в целом;
- стратегия № 2 – ресурс устанавливается основным деталям двигателя, а эксплуатационная наработка двигателя ограничивается только наименьшим ресурсом какой-либо из его основных деталей;
- стратегия № 3 – ресурсы устанавливаются только основным деталям двигателя и определяются расчетным путем.

Двигатель на современном самолете эксплуатируется в различных климатических условиях, характеризуемых климатом той или иной зоны земного шара. Существует следующая классификация основных климатических зон: заполярная; умеренная; пустыня и степи; тропики и субтропики.

Наибольшее влияние на темп истощения ресурса оказывает температура атмосферного воздуха (температура на входе в двигатель). Это обусловлено тем, что при работе на одном и том же режиме температура воздуха на входе в двигатель оказывает существенное влияние на температуру газа в тракте ТРДД и частоту вращения его роторов, а, следовательно, на тепловую и механическую напряженность его деталей.

Определенное снижение термодинамических параметров двигателя при неизменной силе тяги позволяет обеспечить впрыск воды в проточную часть ТРДД.

Оценка влияния климатических факторов и впрыска воды в компрессор низкого давления на темп истощения ресурса узла турбины была выполнена применительно к авиационному двигателю Д-436-148. В основу методики расчета темпа расхода ресурса горячей части ТРДД был положен алгоритм расчета долговечности рабочей лопатки турбины высокого давления, как наиболее нагруженного элемента, лимитирующего ее ресурс [Антипов, 2013].

Программа управления двигателем предусматривает стабилизацию суммарной степени повышения давления воздуха $\pi_{k\Sigma}^* = \text{const}$ и реализуется, практически во всем диапазоне эксплуатационных температур атмосферного воздуха, рисунок 1.

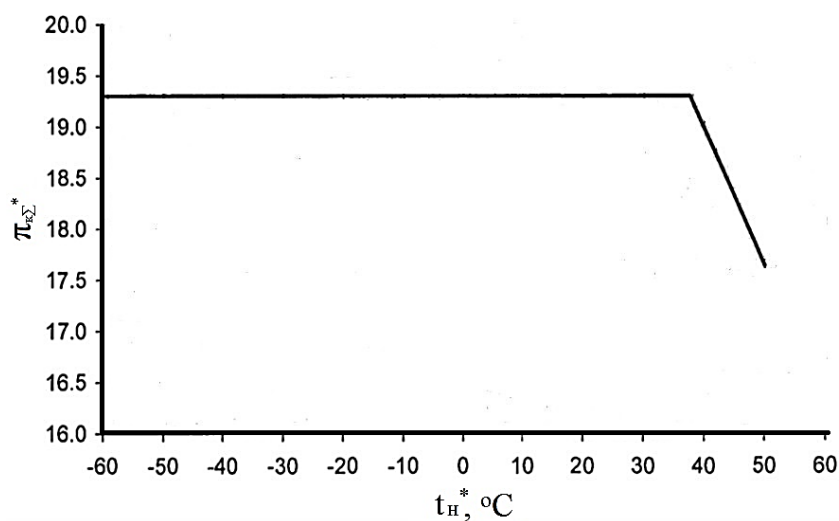


Рисунок 1 – Программа управления ТРДД

Это обеспечивает сохранение тяги силовой установки, а значит и взлетно-посадочных характеристик самолета неизменными в широком диапазоне изменения внешних условий, что существенно упрощает пилотирование самолета на этапах взлета и посадки. Однако, при увеличении температуры атмосферного воздуха параметры рабочего процесса ТРДД, оказывающие непосредственное влияние на долговечность элементов газовой турбины, существенно возрастают, рисунок 2.

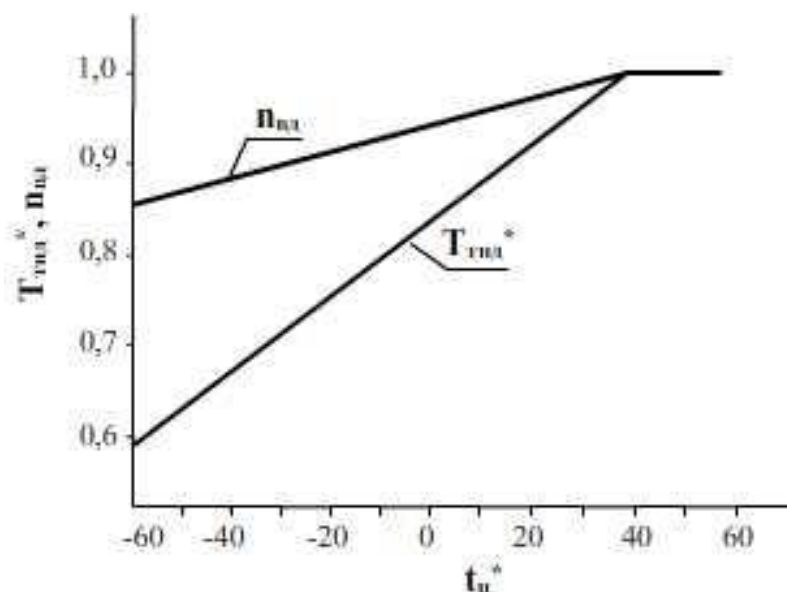


Рисунок 2 – Изменение параметров ТРДД в условиях эксплуатации

Поле представленной климатической характеристики можно поделить на 2 температурные зоны окружающего воздуха с явно выраженными особенностями протекания параметров двигателя. В первом и во втором температурном поле ($t_n \leq 37,5 \text{ }^\circ\text{C}$) и ($t_n \geq 37,5 \text{ }^\circ\text{C}$) режим работы двигателя определяется $\pi_{K\Sigma}$. При увеличении температуры окружающего воздуха, значения параметров двигателя изменяются следующим образом:

- в первой температурной зоне при постоянном значении $\pi_{K\Sigma}$ с уменьшением температуры атмосферного воздуха снижается расход воздуха через двигатель, а частоты вращения роторов увеличиваются. Повышение частот вращения роторов обеспечивается повышением мощностей ТВД, ТНД и ТВ, а также расходом топлива – источником энергии, подводимой к рабочему телу (воздуху, газу); увеличение энергетического состояния рабочего тела сопровождается повышением температуры газа; постоянство тяги двигателя обусловлено увеличением энергетического состояния рабочего тела в той мере, в какой снижается количество рабочего тела.

- во второй температурной зоне: при поддержании постоянной T_{TND}^* (за ТНД) расход топлива уменьшается, вследствие чего происходит снижение $\pi_{K\Sigma}$, частот вращения ротора вентилятора и ротора НД; частота вращения ротора ВД почти не изменяется из-за критического перепада давлений в ТВД; по причине снижения суммарного расхода воздуха и удельной тяги (из-за уменьшения суммарной степени повышения давления воздуха в компрессоре) тяга двигателя уменьшается.

Широкое применение для оценки долговечности рабочих лопаток газовых турбин получил параметр Ларсена–Миллера

$$P_{Л.М} = T \cdot (c + lgt_p)$$

где T – температура лопатки, К,

c – постоянная, для жаропрочных никелевых сплавов $c = 20$ [Чичков; Антипов, 2013],

t_p – долговечность рабочей лопатки, ч.

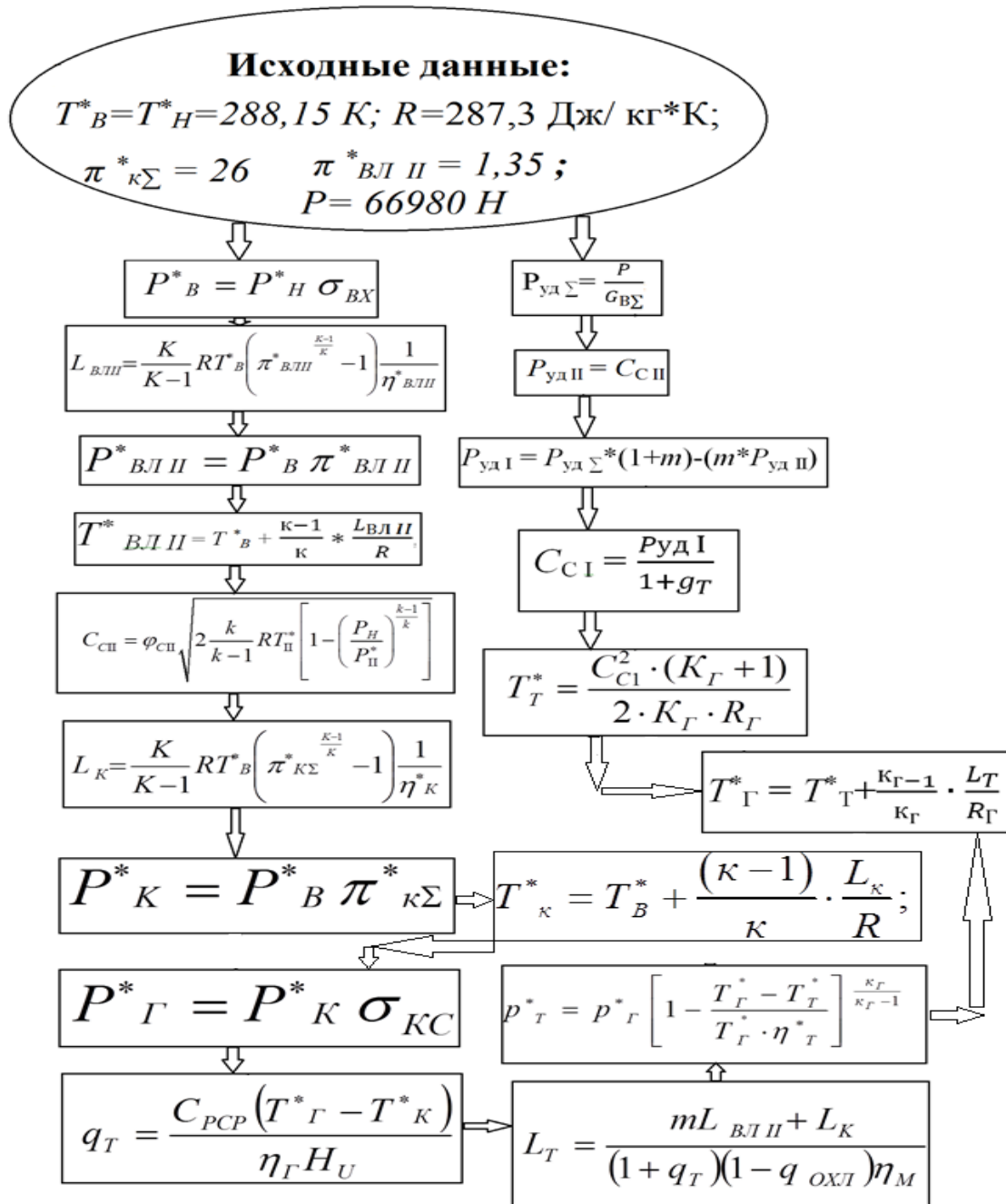


Рисунок 3 – Блок-схема термодинамического расчета ТРДД

Значения параметров, необходимых для определения температуры материала лопаток турбины были определены путем термодинамического расчета. Алгоритм расчета термодинамических параметров ТРДД, оказывающих непосредственное влияние на темп расходования его ресурса, представлен на рисунке 3.

Температуру охлаждаемой рабочей лопатки турбины можно определить, используя расчетное соотношение

$$\theta = \frac{T_{\Gamma}^* - T}{T - T_{\text{охл}}^*},$$

где θ – коэффициент интенсивности охлаждения,

T_{Γ}^* – температура газов перед турбиной,

T – температура материала лопатки,

$T_{\text{охл}}^*$ – температура охлаждающего воздуха.

Величину коэффициента интенсивности охлаждения можно определить по справочной информации, если известны способ охлаждения, конструктивные особенности лопаток и доля охлаждающего воздуха.

На рисунке 4 представлен характер изменения температуры газов перед турбиной в зависимости от условий эксплуатации при штатной компоновке ТРДД и при впрыске воды на входе в компрессор низкого давления (за вентилятором).

Установлено, что при изменении температуры атмосферного воздуха от 15° С до 37° С температура газа перед турбиной при штатной компоновке ТРДД изменяется на 6,5 %, а действующие напряжения в рабочих лопатках турбины – на 3,6 %. При наличии впрыска воды на вход компрессора низкого давления в количестве 1,2 % от расхода воздуха через внутренний контур ТРДД температура газа за турбиной снижается в среднем на 9,5° С.

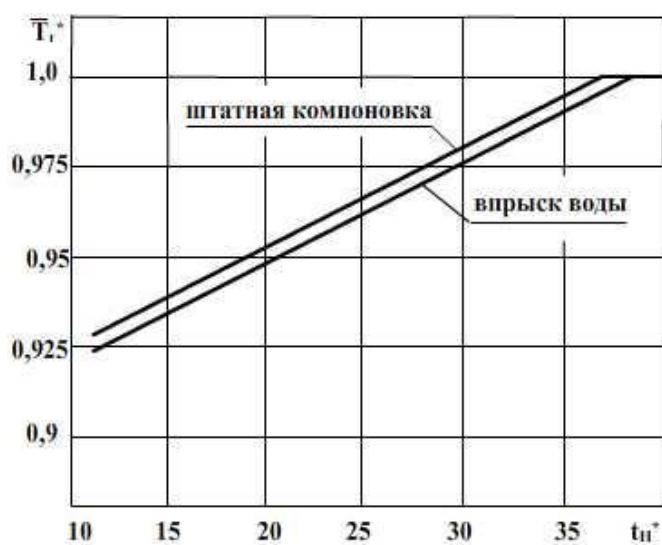


Рисунок 4 – Зависимость температуры газа за турбиной от температуры атмосферного воздуха

В качестве параметра, определяющего темп истощения ресурса ТРДД, предлагается использовать долю повреждаемости рабочей лопатки на взлетном режиме

$$a = \frac{\tau}{t_p},$$

где τ – продолжительность работы двигателя на взлетном режиме на этапе взлета самолета,

t_p – долговечность материала лопатки на взлетном режиме работы двигателя.

Характер изменения относительной повреждаемости рабочих лопаток турбины высокого давления на взлетном режиме за один полет в штатной компоновке ТРДД и при впрыске воды на входе в компрессор низкого давления представлен на рисунке 5. Как показывает анализ, эффективность впрыска воды повышается с ростом температуры атмосферного воздуха. В частности, при изменении температуры атмосферного воздуха от 15° С до 37° С относительная повреждаемость рабочих лопаток за счет впрыска воды снижается в 9,4 раза. Резкое снижение эффективности впрыска воды при температуре выше 37° С объясняется включением в работу ограничителя температуры газов перед турбиной данного типа двигателей.

В результате этого темп выработки ресурса горячей части ТРДД в этом диапазоне изменения температуры атмосферного воздуха снижается от 2% до 18 %, рисунок 5.

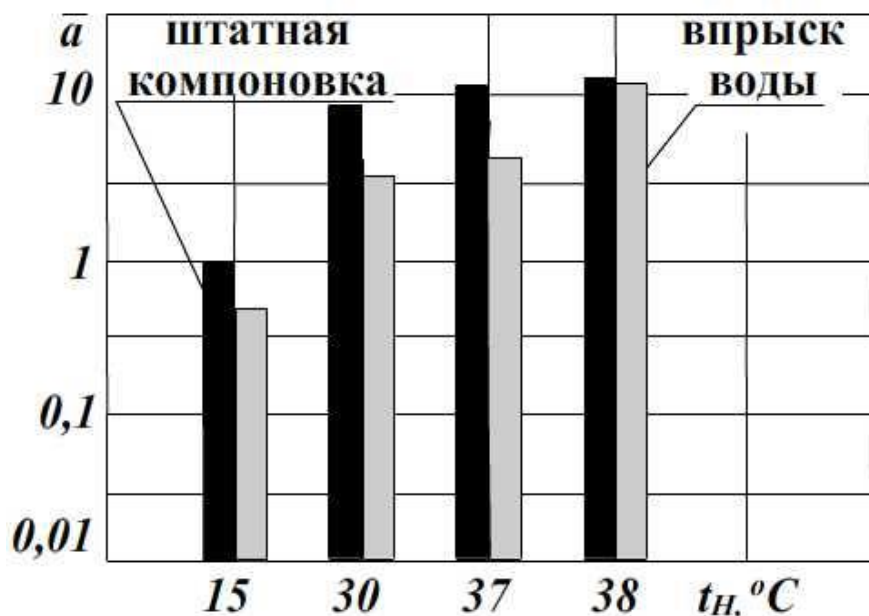


Рисунок 5 – Оценка повреждаемости рабочих лопаток

На рисунке 6 представлена зависимость месячного расхода ресурса от температуры атмосферного воздуха по штатной методике, приведенной в РТЭ [Руководство по технической эксплуатации Ан-148-100А], а также по предлагаемой в работе методике. Из анализа представленной информации

видно, что штатная методика определения остаточного ресурса не учитывает влияние условий эксплуатации ТРДД, что снижает эффективность ее использования.

Расчет по зависимости Ларсена-Миллера при штатной компоновке ТРДД показал, что при изменении температуры атмосферного воздуха от 15° С до 37° С, с учетом применяемой программы управления двигателем, месячный расход ресурса на взлетном режиме может уменьшаться от базового значения (по РТЭ) до 90 %. Поэтому, при наличии достаточно точной методики оценки остаточного ресурса ТРДД с учетом условий эксплуатации появляется потенциальная возможность повышения эффективности его использования.

Впрыск воды на входе в компрессор эффективен только в области высоких температур атмосферного воздуха. Так, в диапазоне температур от 15° С до 37° С снижение месячного расхода ресурса, рассматриваемого в работе ТРДД, может достигать 4 % ... 72 %.



Рисунок 6 – Зависимость месячного расхода ресурса от температуры

Зная продолжительность работы ТРДД на взлетном режиме в процессе взлета, а также среднестатистическое ежемесячное число полетов самолета Ан-148-100 [Авиакомпания «Ангара» перевезла на самолетах Ан-148], можно оценить прирост возможного числа полетов за каждый месяц, в котором температура атмосферного воздуха превышала 15° С, рисунок 7.

Исходя из экономической эффективности, определен рекомендуемый диапазон температур атмосферного воздуха для применения впрыска воды на вход в компрессор низкого давления (20 ... 37)° С.

Как показали расчеты, в рекомендуемом диапазоне изменения температур атмосферного воздуха от 20° С до 37° С возможное число полетов увеличивается от 5 % до 29 % (от 3 до 19 полетов за месяц).

Информация, представленная на рисунке 7, позволяет оценить влияние впрыска воды на входе в компрессор низкого давления на количество возможного числа взлетов в пределах штатного месячного расхода ресурса ТРДД.

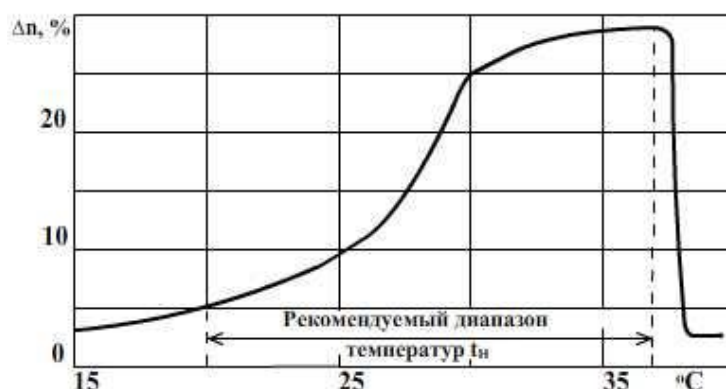


Рисунок 7 – Прирост ежемесячного числа полетов в зависимости от температуры атмосферного воздуха при впрыске воды

Вывод: Выполнена количественная оценка влияния условий эксплуатации и впрыска воды на вход в КНД на долговечность рабочих лопаток газовой турбины. Установлено, что впрыск воды в двигатель при температурах атмосферного воздуха (20 ... 37) °С позволяет снизить темп выработки ресурса горячей части ТРДД на 2% ... 18 %.

Литература

1. Авиакомпания «Ангара» перевезла на самолетах Ан-148 производства ВАСО свыше 75 тысяч пассажиров [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.uacrussia.ru/ru/press-center/news/oak-podvela-itogi-korporativnogo-chempionata-po-standartam-woldskills/aviakompaniya_angara_perevezla_na_samoletakh_an_148_proizvodstva_vaso_svysh_75_tysyach_passazhirov (дата обращения: 20.10.2020)
2. Анализ и статистика изменений эксплуатационного ресурса авиационного газотурбинного двигателя и его влияние на безопасность полётов [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studbooks.net/1195623/bzhd/analiz_i_statistika_izmeneniy_ekspluatatsionnogo_resursa_aviatsionnogo_gazoturbinnogo_dvigatelya_i_ego_vliyanie_na_bezopasnost_polyotov (дата обращения: 20.10.2020)
3. Антипов Ю. А. Долговечность газотурбинной установки при работе с изменяющейся по времени температурой газа перед турбиной / Ю. А. Антипов, И. К. Шаталов, Е. В. Собенников, Е. В. Белова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2013. – №3. – С. 18-22. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/403644> (дата обращения: 20.10.2020)
4. На пути к 3-й стратегии управления ресурсом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://yandex.ru/search/?text=На%20пути%20к%203-й%20стратегии%20управления%20ресурсом&lr=63&clid=2337507-102&win=375> (дата обращения: 20.10.2020)
5. Руководство по технической эксплуатации Ан-148-100А – раздел 20 «Стандартизованные технологические процессы самолетных систем».
6. Чичков Б. А. Рабочие лопатки авиационных ГТД. Часть 1. Эксплуатационная повреждаемость рабочих лопаток. Учебное пособие. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://storage.mstusa.ru> (дата обращения: 20.10.2020)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПЛАНЕРА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Трубников И. В., Дольников А. А.

Рогов Н. В.

(научный руководитель)

*ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
(г. Воронеж)*

В статье представлены данные применения композиционных материалов в авиации. Рассмотрены основные направления по применению импедансного и оптического методов неразрушающего контроля. Разобраны классификации акустических методов неразрушающего контроля.

Ключевые слова: композиционный материал, импедансный метод, самолет, оптический вид.

Применение композиционных материалов в авиастроении позволяет повысить прочность и жесткость с заранее заданными свойствами в зависимости деталей от величины и характера нагрузки. Употребление композиционных материалов в конструкции самолетов позволяет снизить массу летательного аппарата. Доля деталей из композиционных материалов, применяемых в конструкции летательных аппаратов в отечественном и зарубежном авиастроении, представлена на рисунке 1 [Аверичкин, 1997, с. 83].

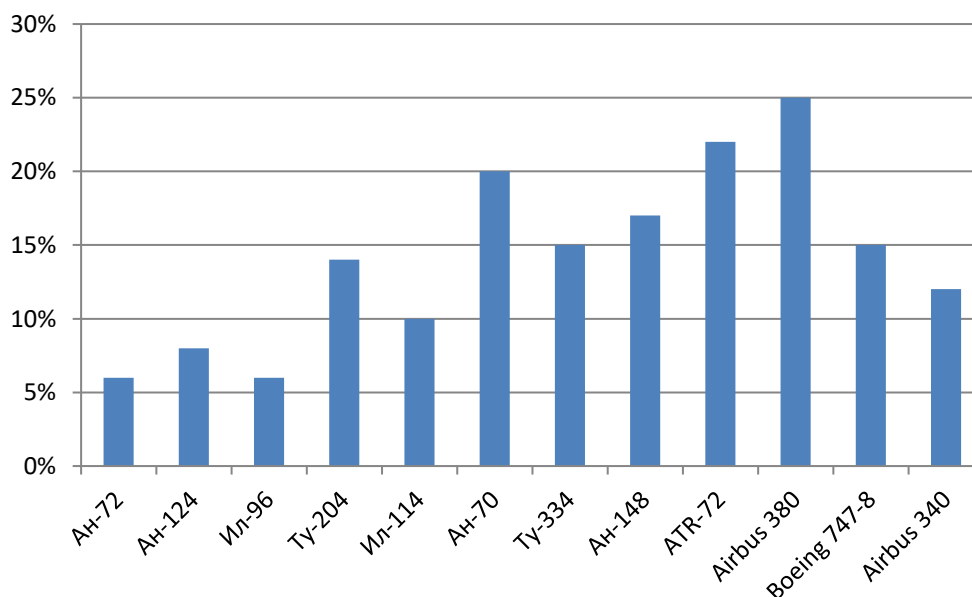
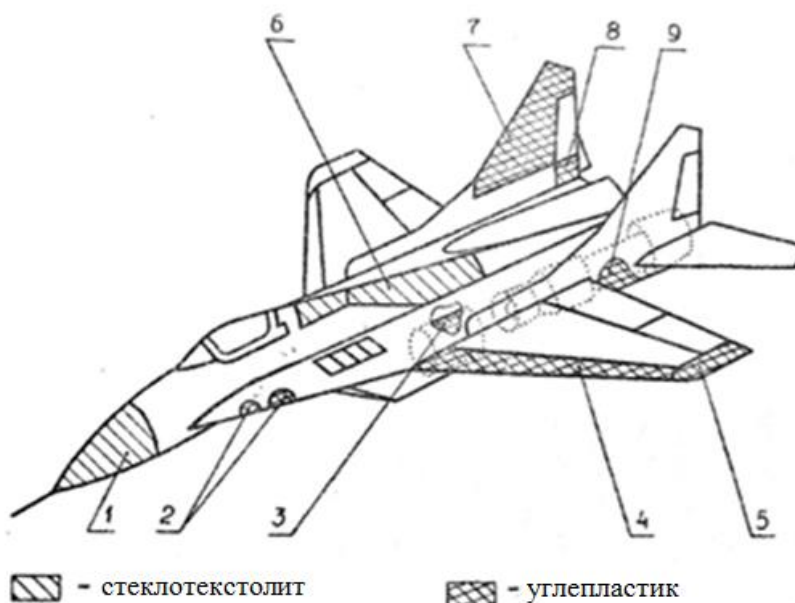


Рисунок 1 – Доля композиционных материалов в конструкции воздушного судна

Со второй половины 20 века применение волокнистых композиционных материалов показало, что у большинства изделий из композиционных материалов стоимость изделий должна быть меньше, чем у традиционных материалов, иначе они не конкурентоспособны [Зотов, 2018, с. 6]. В настоящее время технология позволяет применять волокнистые композиционные материалы. На современном летательном аппарате истребителе МиГ-29 доля композиционного материала достигает 15% от массы воздушного судна. Элементы конструкции воздушного судна МиГ-29, изготовленные из композиционных материалов, представлены на рисунке 2 [Аверичкин, 1997, с. 99].



- 1 – радиопрозрачный конус; 2 – обшивка отсеков антенн; 3 – канал воздухозаборника;
 4 – отклоняемый носок крыла; 5 – законцовка крыла; 6 – крышки грота; 7 – киль;
 8 – подкилевой отсек; 9 – съемный капот двигателя

Рисунок 2 – Основные композиционно-сотовые конструкции на самолете МиГ-29

Применение неразрушающих методов контроля при эксплуатации авиационной техники, разработке новых материалов и производстве изделий на заводах является обязательным условием для безопасности полетов. Целью применения методов неразрушающего контроля является обнаружение дефектов.

Некачественное выполнение применения неразрушающих методов контроля или его отсутствие может привести к преждевременному прекращению полетов, трагической гибели людей и значительному материальному ущербу. Вот один из примеров, 17 октября 2008 года на самолете МиГ-29 в полете разрушился киль, самолет упал в болото. Коррозия металла и усталостные трещины стали основными причинами аварии самолета. Через 2,5 месяца 5 декабря 2008 года к северо-западу от поселка Ингода Читинской области разбился МиГ-29 120-го истребительного авиаполка ВВС России. Авария самолета произошла вследствие повреждения киля, вызванного усталостными

трещинами металла. Таким образом, обе аварии, связанные с самолетами МиГ-29, произошли по схожим причинам [https://tass.ru/info/5641947].

В зависимости от принципа работы контрольные средства подразделяются на известные виды неразрушающего контроля (НК) (рисунок 3).

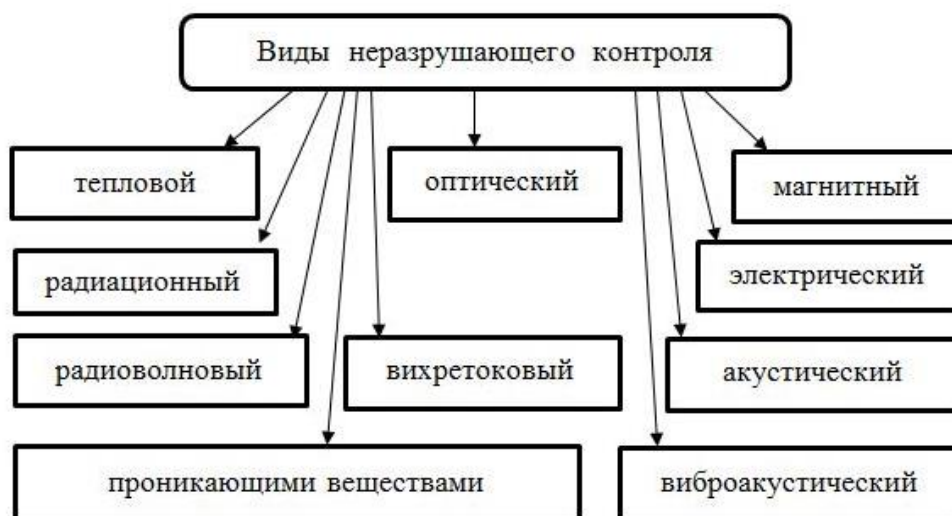


Рисунок 3 – Виды неразрушающего контроля

Область применения определенного вида НК определяется его условиями. Например, для обнаружения поверхностных дефектов (типа трещин) применяются одни виды НК, но для обнаружения внутренних дефектов применяются совершенно другие виды НК.

Каждый вид НК имеет свои методы НК. Например, у самого распространенного оптического вида НК существуют несколько методов неразрушающего контроля (МНК) (рисунок 4).



Рисунок 4 – Методы оптического вида неразрушающего контроля

Визуально-оптический метод контроля является наиболее доступным и простым методом, он используется при изготовлении материалов, а также при осмотре изделий и их эксплуатации. Для обеспечения необходимой кратности увеличения и наведения четкой резкости изображения применяют лупы и микроскопы.

Чаще всего для достоверного контроля многослойных сотовых конструкций из композиционных материалов применяют сразу несколько методов НК. При этом применяемое оборудование в условиях эксплуатации должно отвечать таким требованиям, как надежность, компактность и чувствительность. Габаритные размеры и стоимость композиционных материалов усложняют НК, это заставляет многократно проводить контроль деталей за короткий промежуток времени. Таким образом, обнаружение дефекта деталей на ранних стадиях является экономически целесообразным. Для определения целостности элементов конструкций планера из композиционных материалов кроме оптического вида НК широко применяется в настоящее время акустический вид НК. Акустические методы контроля представлены на рисунке 5 [Зацепин, 2016].

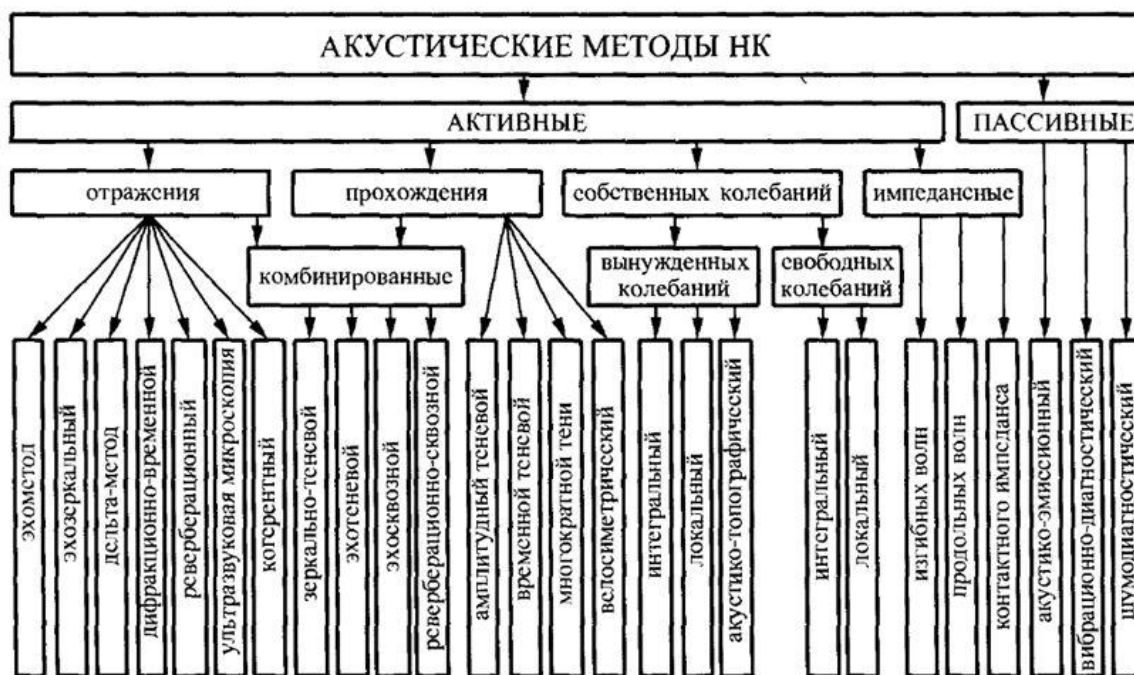
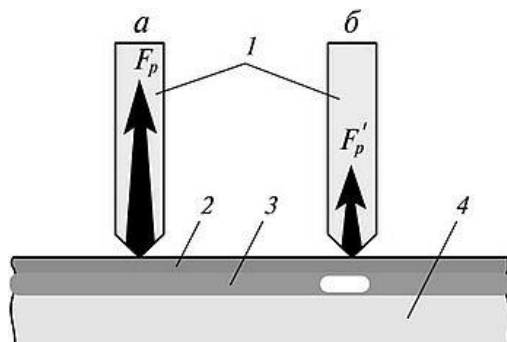


Рисунок 5 – Классификация акустических методов контроля

На летательном аппарате применяются многослойные сотовые конструкции из композиционных материалов. В условиях эксплуатации такие детали необходимо контролировать и, если есть дефект в элементе конструкции, то нужна информация о глубине залегания дефекта и его размере. При применении акустического импедансного метода контроля не всегда можно измерить точные размеры и глубину нахождения дефекта в композиционном материале. Но при этом методе контроля можно попытаться размеры дефектов вычислить с учетом величины механического импеданса.

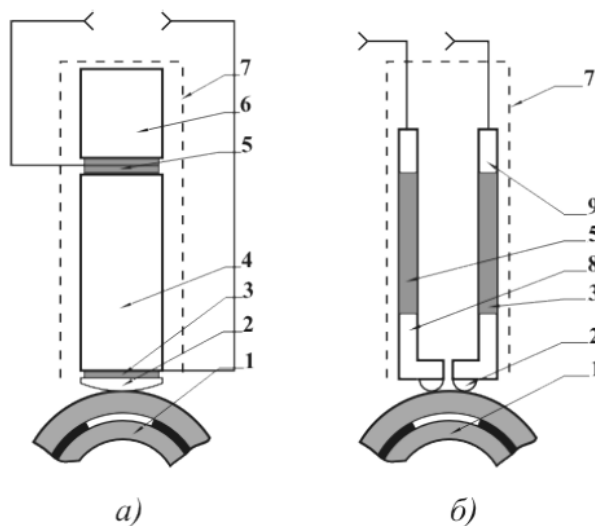
Импедансные дефектоскопы типов ИД-91М, АД-42ИП, ДАМИ-С09, ИД-403 обеспечивают надежный контроль многослойных конструкций из композиционных материалов. Датчиком в этих дефектоскопах является стержень (преобразователь), совершающий колебания, на конце датчика размещен пьезоэлемент, который фиксирует изменение силы реакции. Когда происходит контроль на бездефектном участке, то конструкция колеблется как единое целое, если – на дефектном участке, то наблюдается резкое уменьшение силы реакции, т.к. жесткость обшивки здесь будет не однородной (рисунок 6) [Зацепин, 2016].



a – на участках с хорошей склейкой; *б* – в зоне непроклея; 1 – преобразователь; 2 – внешний лист (обшивка); 3 – слой клея; 4 – внутренний лист; F_p – сила реакции

Рисунок 6 – Импедансный метод контроля

Существуют совмещенный и раздельно-совмещенный пьезоэлектрические преобразователи (рисунок 7).



a – совмещенный; *б* – раздельно-совмещенный; 1 – объект контроля; 2 – контактный наконечник; 3 – приемный пьезоэлемент; 4 – волновод; 5 – излучающий пьезоэлемент; 6 – тыльная масса; 7 – корпус преобразователя; 8 – излучающий вибратор; 9 – приемный вибратор

Рисунок 7 – Пьезоэлектрические преобразователи

Экспериментальное и аналитическое изучение влияния подповерхностных дефектов позволяет получить точные сведения о размерах дефектов. Был проведен полный факторный эксперимент (ПФЭ), в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов. Каждый фактор имеет два уровня. ПФЭ типа $2K$, где K число факторов.

В качестве переменных факторов были взяты:

- резонансная частота – f ;
- толщина обшивки – h ;
- размер стенок – s .

Исследования проводились с использованием дефектоскопа типа ИД-91М на изготовленном макете (рисунок 8).



Рисунок 8 – Проведение акустического импедансного метода контроля

Для проведения исследования был изготовлен макет из многослойного композиционного материала, на котором имелись различные по размерам дефекты. В ходе исследования проведено сравнение аналитических и экспериментальных величин, и модель была подтверждена. После проверки значимости коэффициентов регрессии проводился статистический анализ полученной модели для того, чтобы узнать об адекватности используемых и полученных уравнений или необходимости другой более сложной модели.

На основе выполненных исследований была разработана методика, с помощью которой можно определить условный размер дефекта и глубину его залегания при исследовании многослойных сотовых конструкций акустическим импедансным методом неразрушающего контроля с использованием дефектоскопа типа ИД-91М. Исследования также установили, что размеры повреждений связаны с численными величинами механического импеданса.

Исследования продолжаются, в будущем будут проведены исследования на других макетах с похожими композиционными материалами и после макетов будут проведены исследования на киле самолета МиГ-29.

Литература

1. *Аверичкин П. А.* Композиционные материалы в авиационных силовых установках / Аверичкин П. А. – Ярославль. Изд. ЯГТУ, 1997. – 199 с.
2. *Зацепин А.Ф.* Акустический контроль. Учебное пособие / А. Ф. Зацепин. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2016. – 211 с.
3. *Зотов А. А.* Композиционные материалы: классификация, состав и структура, свойства. Учебное пособие / А. А. Зотов, В. И. Резниченко. – М.: Факториал, 2018. – 132 с.

УДК 629.7.067

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ В КОНТЕКСТЕ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Фёдоров В. И., Вострецов Д. В

Скоробогатов С. В.
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)*

В статье представлен анализ текущего состояния вопроса обеспечения безопасности полётов на воздушном транспорте в контексте внедрения новых технологий. Приведены данные по динамике интенсивности авиаперелётов, а также статистические данные по количеству авиапроисшествий (в том числе и с человеческими жертвами) за период с 1959 по 2019 год. Выполнен анализ влияния конкретных технических решений на показатели безопасности полётов.

Ключевые слова: безопасность полётов, показатель уровня безопасности полётов, статистика авиапроисшествий.

Согласно статистике, воздушный транспорт на данный момент является самым безопасным видом транспорта из всех существующих [Панов, 2017; Губено, 2019]. Однако так было не всегда. С момента своего зарождения авиационная отрасль претерпела существенные структурные изменения, которые коснулись абсолютно всех её аспектов, начиная непосредственно с воздушных судов и специалистов по их лётной эксплуатации и заканчивая различными периферийными службами, которые к авиации имеют весьма отдалённое и опосредованное отношение. Немаловажную роль в увеличении безопасности полётов сыграл научно-технический прогресс, ведь именно благодаря достижениям в науке и технике была достигнута такая интенсивность, регулярность и комфортабельность авиаперелётов.

В 2019 году по миру выполнено порядка 36 миллионов коммерческих рейсов. Анализируя данный показатель за последние 50 лет, что показано на рисунке 1, можно видеть следующую тенденцию: объём авиаперевозок стабильно удваивается в среднем каждые 15 лет. При этом специалистами прогнозируется его дальнейшее увеличение в два раза в ближайшие 20 лет, несмотря на существенное снижение трафика в 2020 году из-за карантинных ограничений [Зинченко, 2017; Щербанин, 2016; Страдомский, 2020].

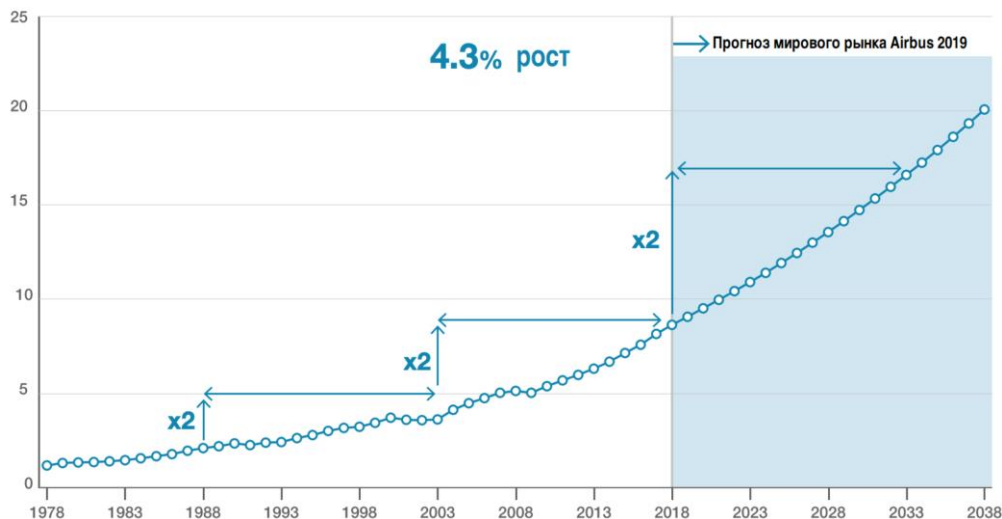


Рисунок 1 – Статистика интенсивности авиаперелётов в пассажирокилометрах по годам

В такой ситуации становится очевидным, что увеличение числа рейсов диктует необходимость повышения уровня безопасности полётов, поскольку в противном случае это неизбежно приведёт к росту объёма авиапроисшествий в абсолютном выражении. Но как видно, на практике этого не происходит (рисунок 2). Вместе с ростом числа авиарейсов наблюдается существенное падение числа авиапроисшествий.

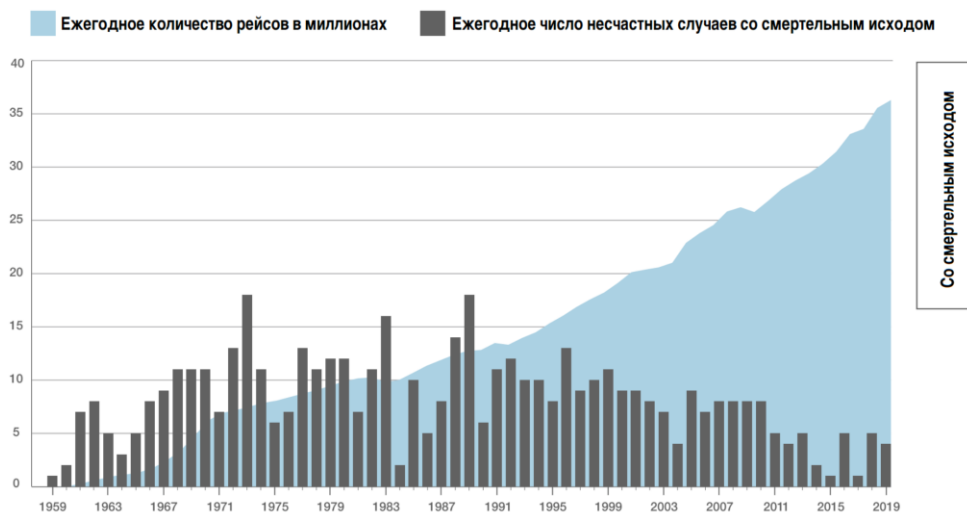


Рисунок 2 – Статистика фатальных авиационных происшествий

Анализ статистики за последние 60 лет говорит о том, что наблюдается планомерный рост числа авиаперелётов и, при этом, число авиапроисшествий неуклонно снижается. Это можно видеть как на гистограммах абсолютных величин, так и на графиках относительных величин (рисунок 3), где приведён объём авиапроисшествий на миллион рейсов в процентах.

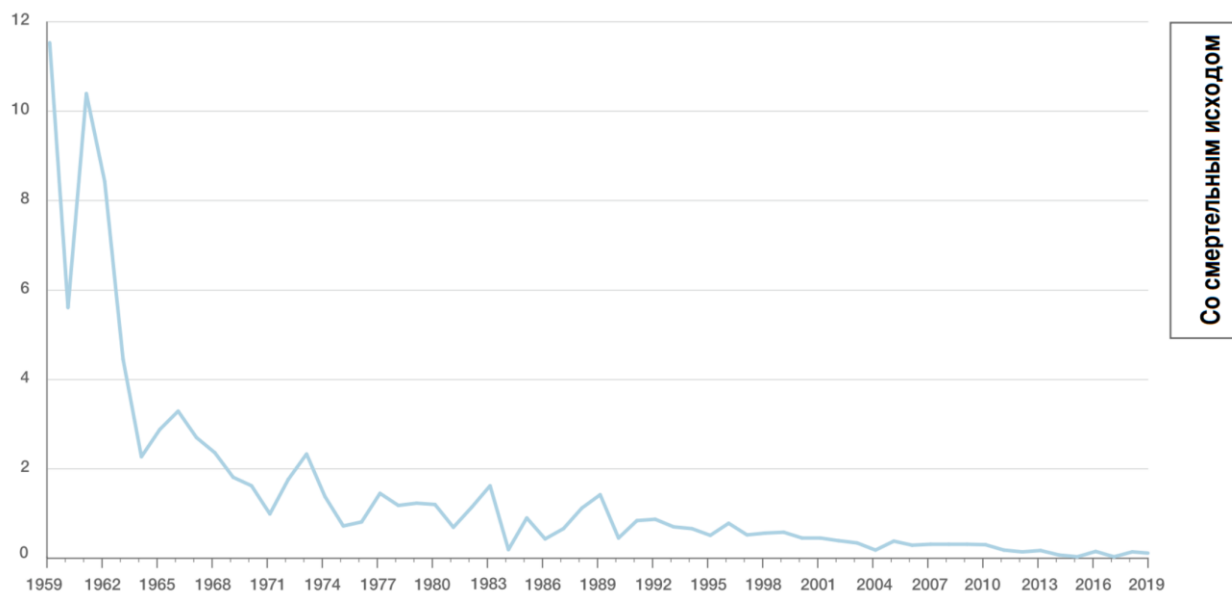


Рисунок 3 – Процент авиапроисшествий со смертельным исходом (по годам)

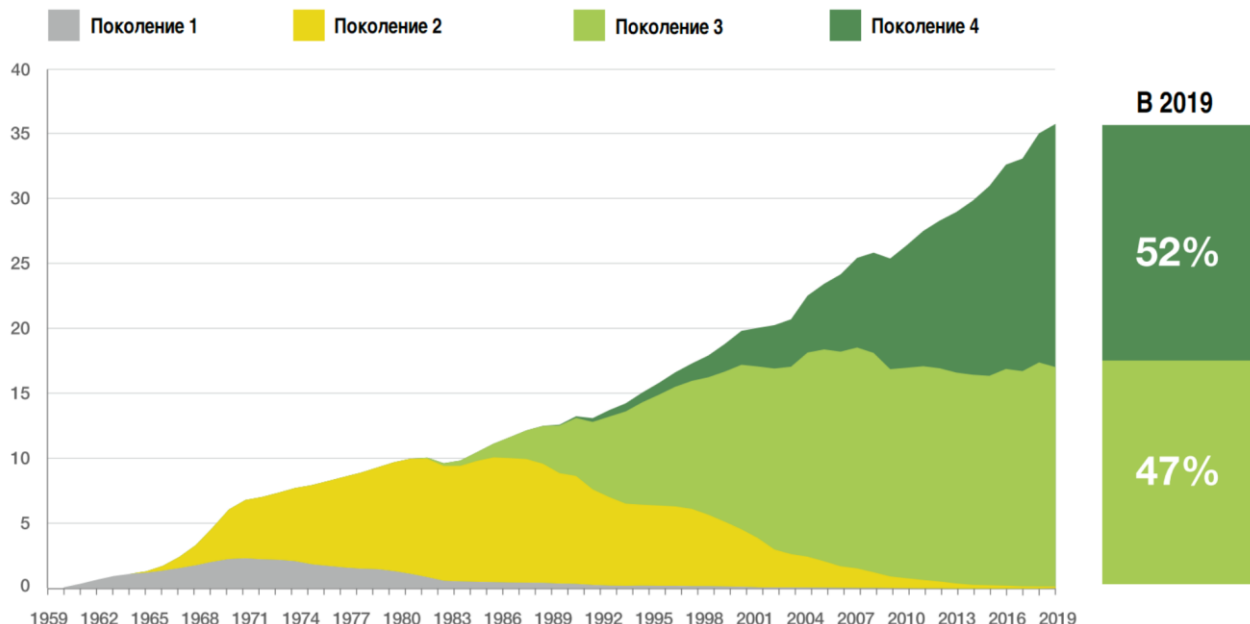


Рисунок 4 – Годовое количество полётов (миллионов) на одно поколение воздушных судов

Значительная часть успеха такого снижения связана с грамотным управлением, повышением качества подготовки авиационного персонала и усилением культуры безопасности полётов. Однако крайне существенным является вклад технологической составляющей. Об этом можно судить по

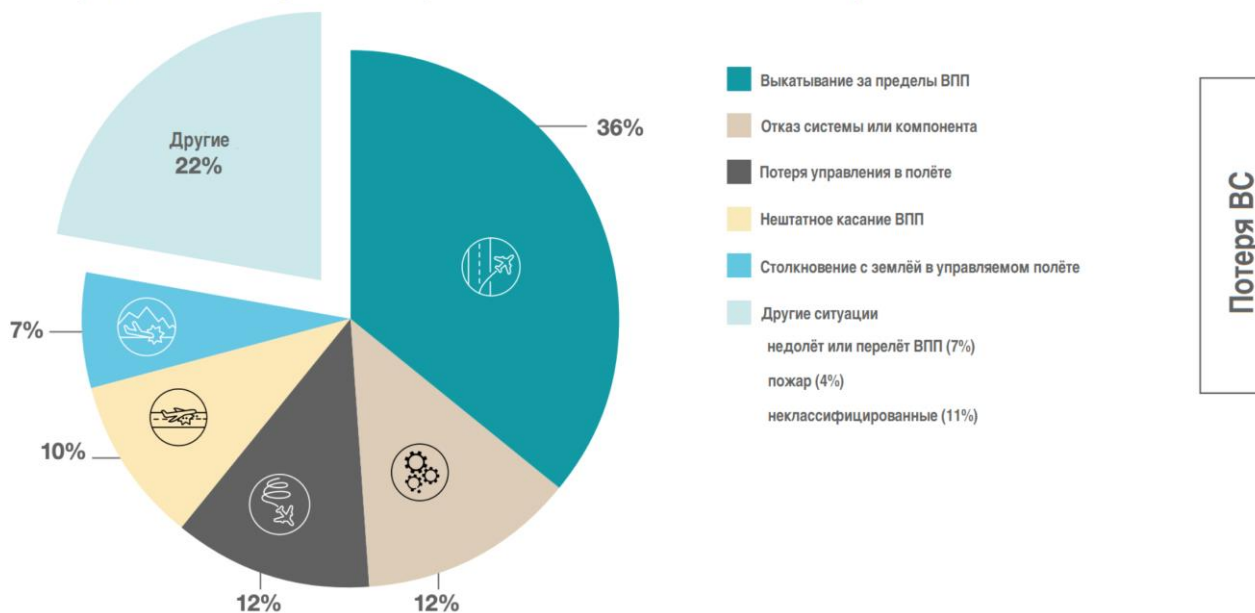
графикам сменяемости поколений авиалайнеров. Так, за последние годы доля ВС нового поколения приблизилась к 90% от объёма пассажирского парка авиакомпаний [Страдомский, 2020].

Распределение несчастных случаев со смертельным исходом по категориям с 1999-2019 гг



а) авиапроисшествия со смертельным исходом

Распределение аварий с потерей ВС с 1999-2019 гг. по категориям



б) – авиапроисшествия с потерей воздушного судна

Рисунок 5 – Основные причины авиапроисшествий по категориям

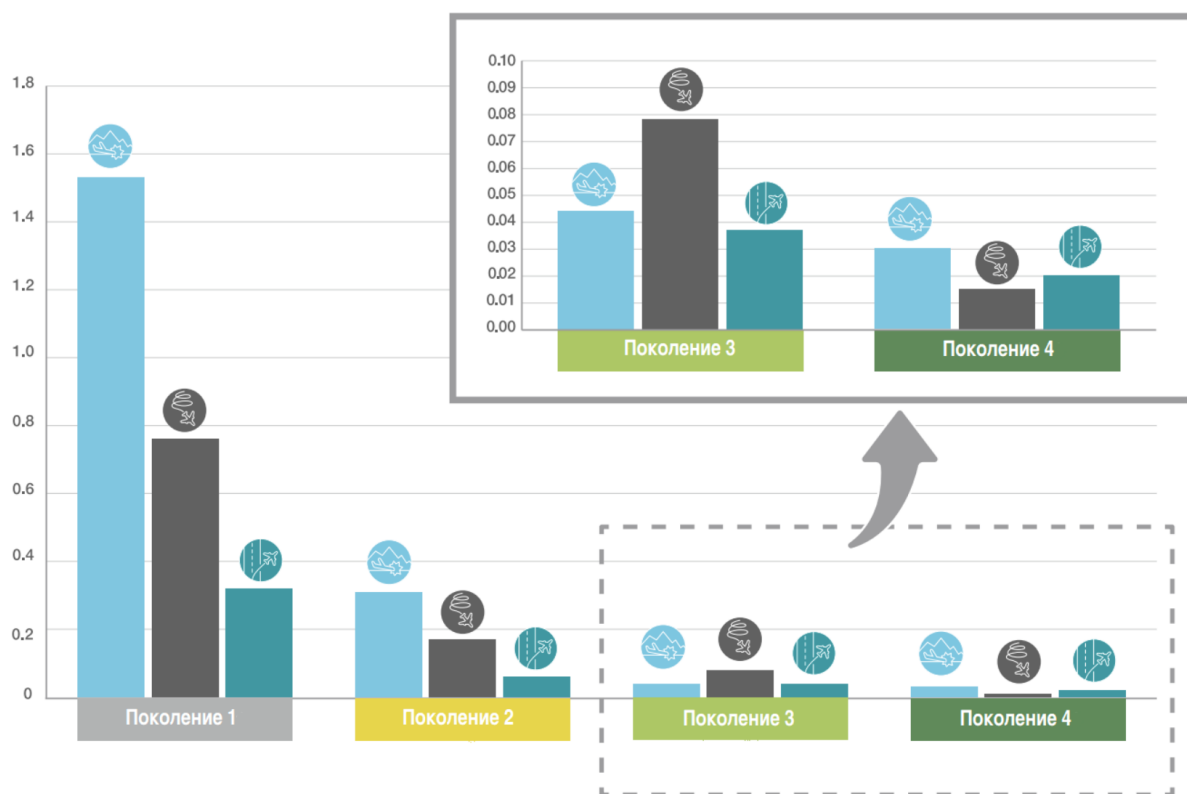


Рисунок 6 – Статистика аварийности с распределением по поколениям ВС

В результате анализа авиационных происшествий по категориям, приведших к потере воздушного судна или к человеческим жертвам, представленных на рисунке 5 и 6, можно сделать следующие выводы:

- За последние 20 лет большая часть происшествий с человеческими жертвами происходила из-за потери управления в полёте. Число этих происшествий значительно сокращено благодаря технологиям, появившимся в четвёртом поколении лайнеров. Прежде всего это произошло за счёт технологии TAWS.

- Число столкновений с землёй в управляемом полёте продолжает сокращаться благодаря введению и непрерывному улучшению «стеклянной» кабины и навигационных технологий, доступных на самолётах третьего и четвёртого поколения.

- Выкатывание за пределы взлётно-посадочной полосы, как боковое, так и продольное, стоит на третьем месте по числу происшествий с человеческими жертвами и является основной причиной происшествий с утратой воздушного судна. Современные технические усовершенствования в перспективе должны решить проблему с продольным выкатыванием.

Таким образом, несмотря на всё возрастающую интенсивность авиаперевозок, процент аварийных ситуаций непрерывно снижается. Сохранение числа происшествий примерно на одном уровне в абсолютном выражении даёт лишь ложное впечатление о состоянии безопасности полётов,

которое неуклонно повышается за счёт внедрения новых технологий. В ближайшем будущем следует ожидать сохранения данной тенденции.

Литература

1. *Губено А. В.* Современное состояние и перспективы развития рынка пассажирских авиаперевозок в России / А. В. Губено, Ю. И. Радова, А. Р. Панкратова. // Научный журнал НИУ ИТМО. – 2019. – №2. – С. 82-90.
2. *Зинченко А. С.* Мониторинг развития отечественного рынка воздушного транспорта на современном этапе/ А. С. Зинченко // Вестник университета. – 2017. – С. 22-25.
3. *Панов Н. Н.* Сравнительный анализ безопасного вида транспорта в России / Н. Н. Панов, А. В. Тюменев // Системные технологии. – 2017. – № 24. – С. 34-39.
4. *Страдомский О. Ю.* Мониторинг рынка авиаперевозок и парка воздушных судов российских авиакомпаний / О. Ю. Страдомский и др. // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2020. – №32. – С. 17-28.
5. *Щербанин Ю. А.* Использование регрессионных моделей для прогнозирования показателей пассажирских авиаперевозок / Ю. А. Щербанин // Проблемы прогнозирования. – 2016. – С. 50-58.
6. Airbus, A. "Statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2016." (2017).

СЕКЦИЯ
**«АВИОНИКА, АВИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ И ПИЛОТАЖНО-
НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»**

Председатель – Попов В. М., заведующий кафедрой АЭС и ПНК, канд. техн. наук, доцент

УДК 629.7.054

**УСТРОЙСТВО ОЧИСТКИ ПРИЕМНИКОВ ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ
ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Баскаков М. Ю.

Антипов В. Н.

Бычкин В. М.

(научные руководители)

*Егорьевский авиационный технический колледж имени В.П. Чкалова – филиал МГТУ ГА
(г. Егорьевск)*

В феврале 2018 года вскоре после вылета из аэропорта Домодедово потерпел катастрофу пассажирский самолет Ан-148. Все находившиеся на борту (71 человек) погибли.

Технической причиной авиакатастрофы стал отказ приемников полного давления (ППД) вследствие их обледенения. ППД служат для измерения скорости воздушного судна. Предлагается устройство очистки входных отверстий приемников полного давления с воздействием на лед и загрязнения сверлом. Перед взлетом с началом движения самолета по взлетно-посадочной полосе формируется команда на включение электродвигателя. Электродвигатель начинает вращать сверло и механизм перемещения сверла. Сверло двигается к входному отверстию ППД, разрушает лед, грязь и выталкивает их наружу. Через заданное время электродвигатель выключается и включается для вращения в обратную сторону. Сверло отводится назад.

Ключевые слова: воздушное судно, Ан-148, приемник полного давления, катастрофа, закупорка приемных отверстий, механизм очистки.

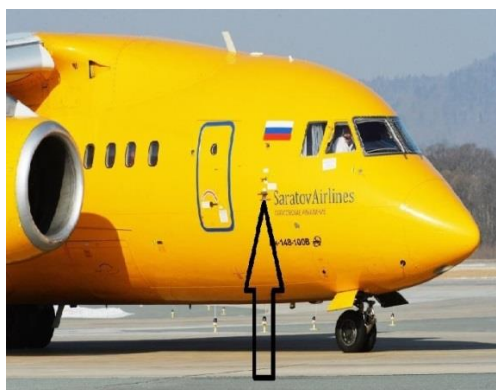


Рисунок 1 – Расположение ППД на самолете Ан-148

В феврале 2018 года вскоре после вылета из аэропорта Домодедово потерпел катастрофу пассажирский самолет Ан-148. Все находившиеся на борту (71 человек) погибли.

Технической причиной авиакатастрофы стал отказ приемников полного давления вследствие их обледенения. ППД служат для измерения скорости воздушного судна. Перед катастрофой Ан-148 самолет долго ждал разрешения на взлет, а в это время шел мокрый снег, которым были закупорены входные отверстия двух из трех приемников полного давления. Экипаж забыл включить обогрев ППД, и после взлета на большой высоте снег замерз, а ППД отказали. [Сайт Ан-148-100В RA-61704, 2018].



Рисунок 2 – Закупорка ППД насекомым

Для устранения обледенения, а также закупорки приемных отверстий ППД грязью или влетевшими в отверстие насекомыми необходима очистка приемных отверстий ППД непосредственно перед взлетом, когда нет возможности осмотреть ППД и очистить их.

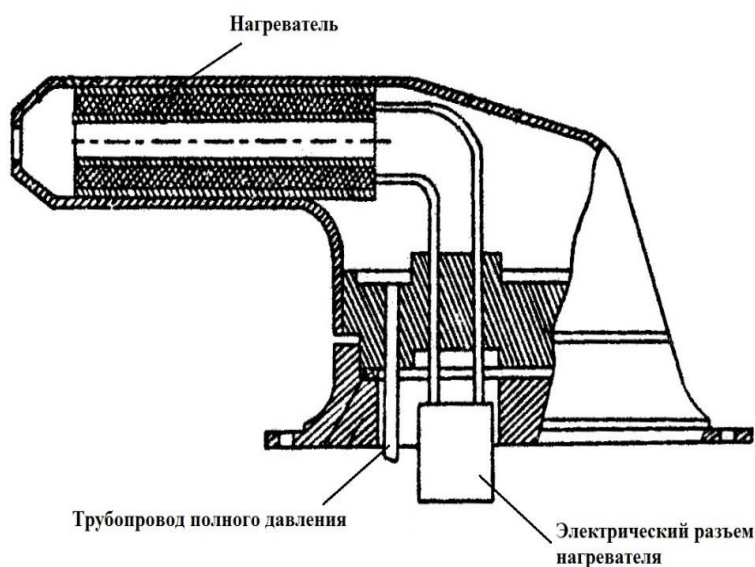


Рисунок 3 – Обогрев входных отверстий

Для очистки входных отверстий ППД рассмотрим несколько возможных способов:

1. Обогрев входных отверстий для превращения льда в воду.
2. Разрушение льда и других загрязнений лучом лазера.
3. Продувка приемных отверстий горячим воздухом.
4. Очистка отверстия с помощью сверла.

Обогрев ППД не устраняет загрязнения и не удаляет насекомых, а удаляет только лед.

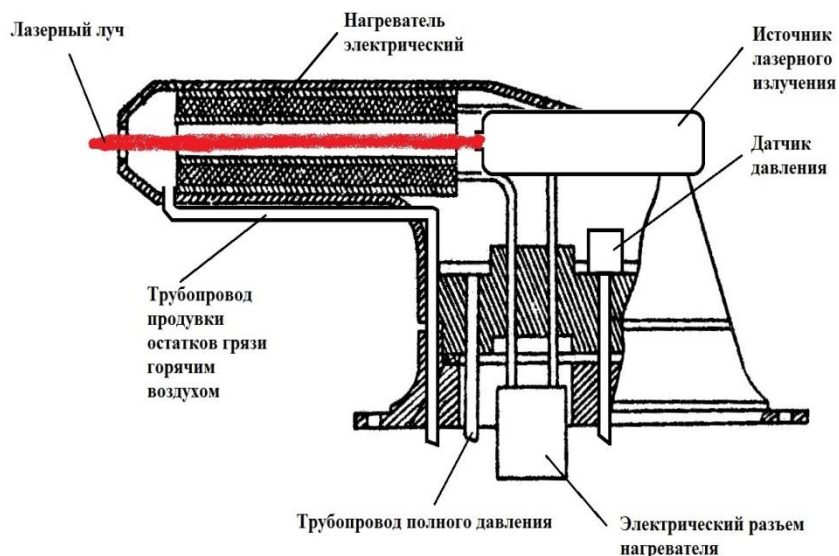


Рисунок 4 – Разрушение льда и других загрязнений лазером

Луч лазера требует специальной аппаратуры для его создания и удаления остатков сожженного загрязнения (сложное и дорогостоящее устройство).

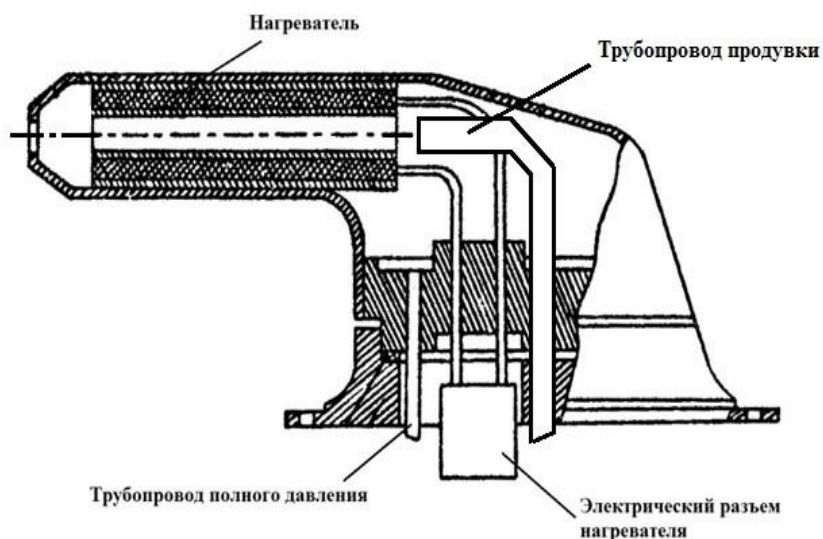


Рисунок 6 – Продувка приемных отверстий горячим воздухом

Продувка ППД горячим воздухом не удаляет засохшую грязь.

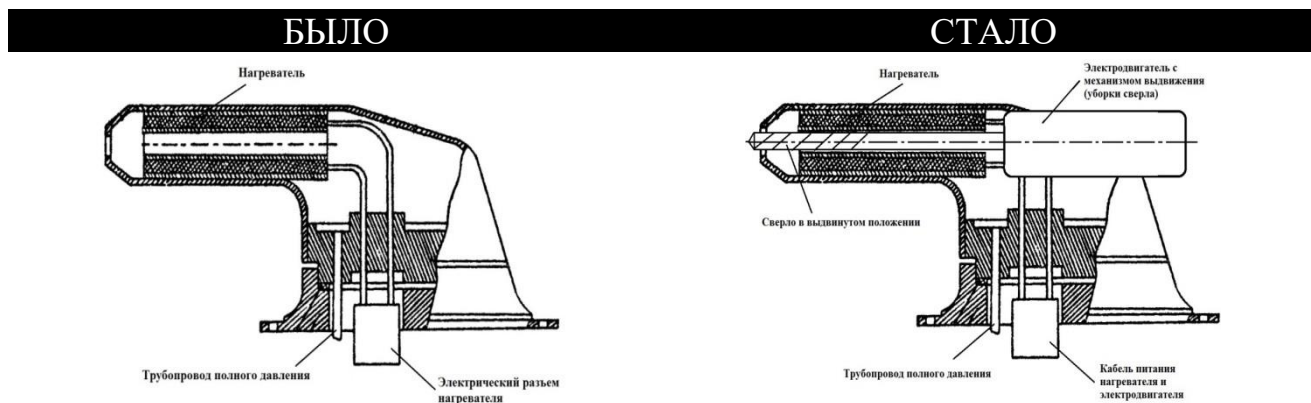


Рисунок 7 – Усовершенствование ППД

Предлагается устройство очистки входных отверстий приемников полного давления с воздействием на лед и загрязнения сверлом.

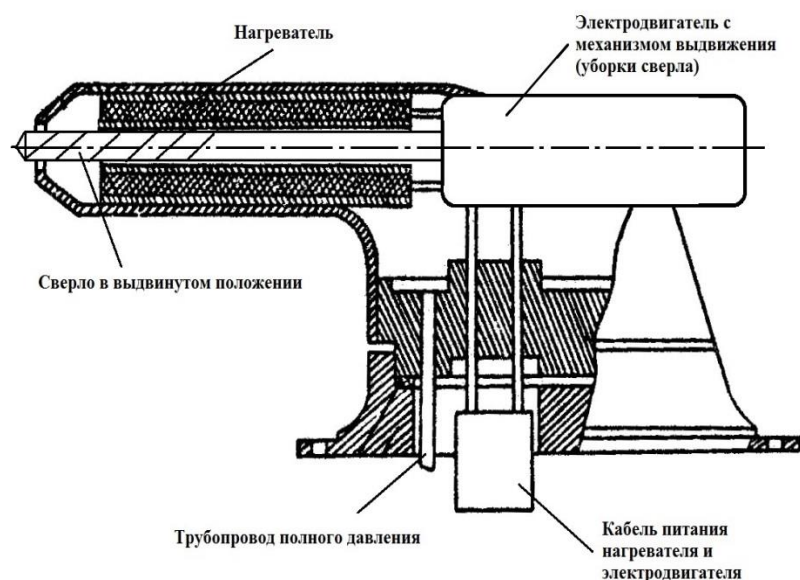


Рисунок 8 – Состав вновь вводимого оборудования

Состав нового оборудования для воздушного судна:

1. Электродвигатель.
2. Сверло из стали.
3. Механизм выдвижения (уборки) сверла.
4. Кабель питания электродвигателя.

Перед взлетом с началом движения самолета по взлетно-посадочной полосе формируется команда на включение электродвигателя. Электродвигатель начинает вращать сверло и механизм перемещения сверла. Сверло движется к входному отверстию ППД, разрушает лед, грязь и выталкивает их наружу. Через заданное время электродвигатель выключается и включается для вращения в обратную сторону. Сверло отводится назад.

Выводы и анализ полученных результатов:

1. Наиболее простым и надежным способом очистки входного отверстия ППД является очистка сверлом с электродвигателем.
2. По сравнению с реальным образцом длина предлагаемого приемника полного давления увеличивается в 2 раза, что не ухудшает обтекание ППД воздухом в полете.

Литература

1. Сайт. Ан-148-100В RA-61704 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mak-iac.org/rassledovaniya/an-148-100b-ra-61704-11-02-2018/>. – Заглавие с экрана. – (дата обращения: 12.11.2020).

УДК 629.7

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВИАЦИОННЫХ ЖГУТОВ

Калугина К. Е.

Попов В. М., канд. техн. наук
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)*

Разработка создана на основе компьютерных моделей, благодаря чему лабораторные работы могут быть выполнены как в учебной лаборатории в рамках традиционно организованного учебного процесса, так и на собственном компьютере во время самостоятельной работы в библиотеке и дома (дистанционное обучение). Основой является комплекс прикладных программ, созданный в инструментальной среде разработки приложений LabVIEW.

Ключевые слова: авиационные жгуты, сопротивление изоляции, электрическая прочность, мегометр, подключение мегометра, измерение сопротивления изоляции.

Важным пунктом проверки любого электрооборудования на работоспособность является проверка изоляции, включающая в себя контроль сопротивления изоляции электрожгутов.

Сопротивление изоляции – это величина, численно равная отношению приложенного к изоляции не изменяющегося во времени электрического напряжения к величине протекающего через изоляцию тока [Руководство по технической эксплуатации самолета Ан-148].

Существует еще один термин. Электрическая прочность – это способность изоляции выдерживать испытательное напряжение без пробоя и перекрытий.

Измерение сопротивления изоляции основано на законе Ома. Подав

известное напряжение постоянного тока с уровнем ниже, чем напряжение испытания электрической прочности, а затем измерив значение тока, можно вычислить значение сопротивления.

Измерение сопротивления проводников, малых значений, конечно, удобно производить мультиметром в режиме омметра, для измерения больших величин сопротивления необходим прибор – мегаомметр.

Главное отличие мегаомметра от омметра заключается в том, что первым производят замеры сопротивления при большом значении напряжения, которое он сам же и генерирует.

При измерении сопротивления изоляции необходимо большое значение напряжения для того, чтобы изоляционный материал стал проводником тока.

Значение сопротивления изоляции очень велико, но не бесконечно, поэтому измеряя малый протекающий ток, мегомметр указывает значение сопротивления изоляции в кОм, МОм, ГОм и даже в ТОм (на некоторых моделях). Это сопротивление характеризует качество изоляции между двумя проводниками и способно указать на риск возникновения тока утечки.

В целях профилактики, перед тем, как ввести электроустановку и электрооборудование в эксплуатацию, производится процедура замера сопротивления изоляции токопроводящих частей. Это касается и авиационных жгутов. Данная процедура позволяет определить снижение характеристик изоляционного материала, которые могут привести к нежелательным последствиям – различным аварийным ситуациям и необходимости дальнейшего дорогостоящего ремонта. Кроме того, факт несоответствия значения изоляции токоведущих частей стандарту или в случае ее повреждения является следствием поражения человека электрическим током [Крюковский, 2017].

Чаще всего производят замер сопротивления изоляции каждой жилы относительно земли и между жилами.

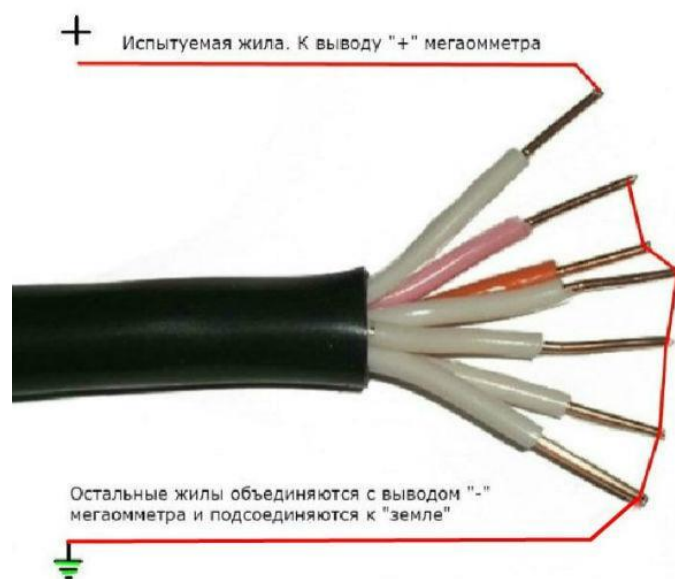


Рисунок 1 – Подключение мегомметра к жилам при измерении сопротивления изоляции одной жилы относительно земли

Величину напряжения при измерении сопротивления изоляции следует

выбирать в зависимости от номинального рабочего напряжения данной цепи по таблице 1.

Таблица 1

Максимальное рабочее напряжение (раб. ампл.), В	Напряжение постоянного тока при измерении сопротивления изоляции, В
До 100	100-250
До 500	250 – 500

Сопротивление изоляции должно быть не ниже значений, указанных в таблице 2.

Таблица 2

Условия испытаний	Сопротивление изоляции при значениях рабочего напряжения (раб. ампл.) до 0.5 кВ, Мом
Нормальные климатические условия	20
Повышенная температура	5
Повышенная влажность	1

Нормальные климатические условия:

- температура воздуха плюс 15 – 35⁰С;
- относительная влажность воздуха 45 – 80%;
- атмосферное давление 9,6х10 - 10,4х10 Па (720 – 780мм рт.ст.).

При этом предполагается, что среда не насыщена пылью, практически свободна от химических агентов и интенсивных излучений, влияющих на работу аппаратуры.

Примечание – при температуре воздуха выше плюс 30⁰ С относительная влажность воздуха не должна превышать 70% [Программа технического обслуживания Ан-148-100].

Измерения должны проводиться не меньше минуты, так как значение показаний должно установиться.

Опираясь на данные из этих таблиц и на данные полученные с омметра, можно сделать общий вывод о пригодности изоляции каждой жилы выбранного жгута. По итогам проведенных работ необходимо подготовить отдельный документ, в котором фиксируются все необходимые для отчета данные:

1. Дата проведения исследования;
2. Состав группы, проводившей исследование;
3. Приборы, используемые во время исследования;
4. Схема подключения приборов и установок;
5. Окружающая температура и условия проведения работы;

6. Показания, снятые с приборов;
7. Таблица допустимых показаний;
8. Вывод о соответствии или несоответствии сопротивления изоляции нормам.

Все эти данные можно вывести на монитор установки NIPXIe-8115 с помощью программной среды LabVIEW.

Технология виртуальных приборов позволяет создавать системы измерения, управления и диагностики различного назначения практически любой произвольной сложности, включая математическое моделирование и тестирование этих систем. Суть этой технологии состоит в компьютерной имитации с помощью программы реальных физических приборов, измерительных и управляющих систем. Программная среда LabVIEW является именно таким инструментарием технологии виртуальных приборов [Батоврин, 2012].

Слово «виртуальный» не должно вводить в заблуждение, поскольку приборы, реализованные по этой технологии, на самом деле являются реальными, работающими с реальными физическими входными сигналами. Виртуальность здесь понимается в смысле виртуальной имитации функций прибора математическими и программными методами.

Таким образом, показания, снятые с мегометра, оцифровываются и представляются в виде виртуального прибора. По истечению минуты показания фиксируются, сравниваются с допустимыми значениями. Также учитываются данные, занесенные об условиях окружающей среды. На основе всех полученных и введенных данных формируется отчет о выполненной проверке сопротивления изоляции.

Так как входные сигналы можно имитировать, собрать схему подключения нереального прибора к нереальному сопротивлению и даже случайно задавать значения измеряемого сопротивления, то такой метод проведения работ можно использовать дистанционно.

Литература

1. Батоврин В. К. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий / А. С. Бессонов, В. В. Мошкин, В. Ф. Папуловский, В. Р. Диндваль, Г. И. Щербаков. Под ред. В. К. Батоврина. 2-е изд, переработ. и доп. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 232с.
2. Воробьев В. Г. Техническое обслуживание и ремонт авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов/ В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов. – М.: Университетская книга, 2007. – 470 с.
3. Крюковский М. П. «Разработка лабораторного практикума «Электрические испытания в сетях напряжением до 1 кВ на базе прибора «МегаомметрЭСО-210/3-Г» / М. П. Крюковский. – Тольятти, 2017. – 107 с.
4. Попов В. М. Устройство автоматизированного контроля сборки авиационных жгутов. / В. М. Попов // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов IX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2020. – С. 92-99
5. Программа технического обслуживания Ан-148-100.
6. Руководство по технической эксплуатации самолета Ан-148. Раздел 24 система электроснабжения.

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СБОРКИ АВИАЦИОННЫХ ЖГУТОВ

Ластовкина Е. А.

Попов В. М., канд. техн. наук
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)*

В данной статье рассматривается вопрос устройства автоматизированного контроля сборки авиационных жгутов. В результате сборки соединительные провода (жгуты) при обработке ручным инструментом могут иметь очень низкое качество. Поэтому, чтобы облегчить процесс сборки используют автоматические и полуавтоматические методы сборки.

Ключевые слова: авиационный жгут, сборка жгутов, автоматизация проектирования, обработка проводов, ручной инструмент, зачистной инструмент.

Жгут представляет собой сборку из двух и более (до нескольких сотен) изолированных проводов, соединенных в пучок каким-либо способом. Подобный способ сборки применяется при электрическом соединении элементов различных систем и приборов. Пример жгута представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Жгут

По способу применения жгуты делятся на внутриблочные (для соединения элементов внутри прибора) и межблочные (для соединения разных приборов в одну систему) [Воробьев, 2007].

С развитием автоматизации производства, сборка жгутов по большей части осуществляется с применением ручных инструментов, что обусловлено спецификой определенных изделий и невозможностью автоматизации некоторых этапов сборки.

Технология сборки авиационных жгутов состоит из следующих основных этапов: заготовка материала, сборка проводов в жгут, установка разъемов и контроль ОТК. Менее всего какой-либо автоматизации подвержен этап установки разъемов.

На начальном этапе создания жгутов выполняется проектирование всего процесса, которое позволяет избежать корректировок и задержек на последующих этапах производства. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) существенно снижают время разработки конструкторской и технологической документации, позволяют макетировать положения жгута в изделии в 3D-формате, оперативно выполнять изменения конструкции изделия и отслеживать весь жизненный цикл продукта, начиная от первого эскиза жгута и заканчивая стендом выходного контроля [Программный комплекс разработки IGE+XAOGroup].

В настоящее время автоматизация проектирования авиационных жгутов идет по двум основным направлениям:

- Небольшие компании, в которых производство кабельной продукции не является основным видом деятельности, используют неспециализированные САПР, перенося вручную полученные на них результаты разработки на производственный участок.

- Крупные и узкопрофильные производители жгутов, обладающие автоматизированной производственной базой, используют САПР, специализирующиеся на работе со жгутами. Это позволяет автоматически передавать информацию о разработанном изделии на автоматизированные участки и линии нарезки, зачистки и т.д.

К одной из таких специализированных систем проектирования относится SeeElectricalExpert – разработка французской компании IGE+XAO Group, предлагающей автоматизированные программные решения для проектирования в области электротехники и автоматики [Программный комплекс разработки IGE+XAOGroup]. Эта САПР включает в себя линейку программных модулей и конфигураций, основной задачей которых является создание логики электротехнического проекта. Предлагаемое решение, используемое на разных стадиях разработки высокотехнологичных изделий, обеспечивает сквозной цикл «проектирование – производство», позволяет эффективно решать задачи, связанные с проектированием электрических жгутов кабельной сети за счет обеспечения совместимости между электрическими схемами, автоматически осуществлять оптимальную прокладку кабелей с помощью функции

автоматической разводки, а также предоставляет данные по длинам проводов в жгутах, массе и диаметру ветвей жгутов.

Сборка сложных авиационных жгутов осуществляется на специализированном механическом рабочем столе (рисунок 2), отображающем созданную в автоматизированном режиме электронную модель кабельной сборки или жгута [Миронов, 2009].



Рисунок 2 – Механический рабочий стол для раскладки жгутов

Для сборки жгутов в авиационной технике используются специализированные провода марок МС, МГТФ, МГШВ, БПВЛ, НВ, РК и т.д. Осуществление обработки специализированных проводов является сложным процессом. В настоящее время предприятия по сборке электрожгутов осуществляют обработку данных проводов вручную, для чего используются ручные клещи-стрипперы или пинцеты с термоподогревом [Миронов, 2009].

Требования к качеству обработки проводов, применяемых в авиационно-космической промышленности, относятся к самому высокому классу безопасности. Эти требования не допускают подрезания или насечки на зачищаемых жилах провода.

Использование ручного инструмента с V-образными или радиусными ножами не гарантирует такого качества зачистки провода [Миронов, 2009]. При ручной обработке провода с использованием ручного зачистного инструмента очень сложно добиться контроля над подрезанием или повреждением жил. Для того чтобы не оцарапать жилу, можно увеличить зазор между зачистными ножами. Однако добиться стабильности в ручном режиме практически невозможно – сказывается большое влияние человеческого фактора. Нестабильное усилие стягивания изоляции, нестабильный угол подачи провода в зачистное устройство приводит к повреждению токоведущей жилы и другим дефектам обработки.

Другим способом обработки является применение устройства для термической зачистки, в обиходе называемые обжигалками. Но их использование может привести к следующим проблемам:

- Перегрев токоведущей жилы, что делает жилу более хрупкой. Это может проявиться в дальнейшем при эксплуатации проводов, зачищенных подобным способом.

- Перегрев токопроводящей жилы приводит к тому, что жила в большей степени подвергается воздействию окружающей среды и быстро окисляется.

- В случае, когда изоляция легкоплавкая, остатки расплавленной изоляции налипают на жилу.

При использовании ручных термических зачистных инструментов нестабильное усилие стягивания изоляции и нестабильный угол подачи провода в зачистное устройство приводят к повреждению токоведущей жилы [Миронов, 2009].

Поэтому для того, чтобы производить отбраковку после ручной обработки, каждый зачищенный провод необходимо проверять под микроскопом, что приводит к трудозатратам и необходимости в дополнительном оборудовании.

В результате соединительные провода (жгуты) при обработке ручным зачистным инструментом или с помощью обжигалок могут иметь очень низкое качество [Миронов, 2009]. А это приводит к введению на каждом этапе дополнительного контроля качества.

Чтобы избавиться от указанных проблем, используют автоматические и полуавтоматические линии мерной резки и зачистки провода.

При использовании автоматического оборудования обеспечивается стабильная и точная подача провода, его правильное позиционирование и стабильное усилие стягивания изоляции. Благодаря этому максимально снижается вероятность повреждения токопроводящей жилы. Автоматы обработки провода позволяют скорректировать глубину врезания ножей, сделав ее стабильной и постоянной.

На каждом производственном этапе выполняется проверка качества собранных жгутов, чтобы предотвратить выпуск некачественных жгутов и снизить затраты на ремонт уже собранного жгута [Воробьев, 2007]. При настройке автоматов резки и зачистки провода следует производить визуальный контроль зачистки. Для этого применяется лупа и специальный микроскоп. Так же проверка электрических параметров жгута, правильность разводки жгута, переходные сопротивления, герметичность разъемов жгута и т.д. производится уже на собранном жгуте, желательно до бандажирования, для того чтобы иметь возможность произвести ремонт этого изделия. Эта проверка осуществляется с помощью универсальных тестеров. Заключительным этапом является проверка работоспособности жгутов в эксплуатационных условиях. Для этих задач используются специальные камеры термических испытаний, соляного тумана и т.д. с интегрированными модулями виброиспытаний.

Таким образом, правильно организовав технологический процесс изготовления жгутов, можно добиться снижения трудоемкости операций; обеспечить полный контроль и управляемость процессом изготовления; минимального веса изделий и реализации современного технологичного производства.

Литература

1. *Воробьев В. Г.* Техническое обслуживание и ремонт авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов: учебник / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов. – М.: МГТУ ГА, Университетская книга, 2007.
2. *Миронов И. В.* Приборы для проверки электрических соединений / И. В. Миронов. – М.: Энергия, 2009.
3. *Попов В. М.* Устройство автоматизированного контроля сборки авиационных жгутов / В. М. Попов // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов IX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2020. – С. 92-99
4. Программный комплекс разработки IGE+XAOGroup – SEEElectricalExpert.
5. Руководство по технической эксплуатации самолета Ан-148. Раздел 24 система электроснабжения.

УДК 621.2

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОМПОНОВКИ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Мингазов А. Л.

Фёдоров Е. Ю., канд. техн. наук
(научный руководитель)

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
(г. Казань)

В данной статье рассмотрен вопрос решения задачи компоновки конструктивных узлов системы распределения электрической энергии летательного аппарата. Были описаны варианты решения данной проблемы как с применением алгоритмов, базирующихся на теории графов, так и с применением генетических алгоритмов. Целью исследовательской работы является получение подробного примера решения задачи безусловной оптимизации благодаря разбору основных принципов и применению генетических алгоритмов. В статье акцентируется внимание на целесообразности применения генетического алгоритма при решении проблемы оптимизации в силу широкой вариативности входных параметров для применения данных алгоритмов. Определяется содержание понятия «генетический алгоритм», подробно описывается способ его применения и основная суть использования. Научная новизна заключается в выборе нетипичного алгоритма решения задачи компоновки и приведения решения к возможной кооперации с классическими методами решения поставленных задач. В результате исследования были описаны

этапы применения генетического алгоритма для решения оптимизационных задач: кодирование, присвоение параметров приспособленности, генерация новых особей в следующую популяцию, мутация и формирование новой популяции. В ходе применения всех этапов генетического алгоритма на предложенном примере оптимизационной задачи были получены результаты, удовлетворяющие требованию отсутствия попадания в локальный минимум функции. Оценивая полученные результаты, был сделан вывод о том, что использование генетических алгоритмов применимо для решения оптимизационных задач, но их взаимное применение с алгоритмами теории графов, специализированными для выполнения определенных задач с наименьшими входными данными, будет считаться наилучшим.

Ключевые слова: компоновка, оптимизация, особь, популяция, электрооборудование.

Задача компоновки конструктивных узлов системы распределения электрической энергии летательного аппарата заключается в объединении элементов электрооборудования в конструктивные узлы. В современном мире к летательным аппаратам предъявляются жесткие требования к массогабаритным характеристикам с целью оптимизации их летных качеств и трат на обслуживание. Способы компоновки конструктивных узлов на летательных аппаратах в настоящее время совершенствуются, однако нет определенного метода, имеющего максимальную эффективность. Расположение элементов электрооборудования (электромагнитные реле, контакторы, выключатели и другая коммутационная аппаратура) является задачей первостепенной важности в авиационном машиностроении, ведь группирование этих элементов в конструктивные узлы позволит выделить дополнительные объемы для уменьшения габаритов, увеличения значений переносимой полезной нагрузки и т.д.

Решение задачи компоновки позволяет формализовать процесс размещения конструктивных узлов, процесс выделения схем межблочного и внутриблочного электромонтажа и произвести разводку электрических цепей. Задача компоновки в общем виде формулируется следующим образом: требуется разбить множество компонуемых элементов E на α непересекающихся подмножеств E_s , представляющих собой элементный набор конструктивных узлов.

При решении этой задачи множество ограничений C формируется с использованием элементов множества признаков системной модели и следующих инженерных требований:

- должны быть выполнены требования электромагнитной, тепловой, механической совместимости, надежности;
- обеспечен заданный коэффициент заполнения конструктивных узлов;
- ограничен объем конструктивных узлов

Наиболее приемлемым критерием компоновки является критерий минимизации числа соединений между конструктивными узлами, т.к. он дает уменьшение массы изделий, минимизирует взаимные наводки, увеличивает надежность, упрощает конструкцию. В связи с этим рассмотрение методов компоновки конструктивных узлов электрооборудования будет проводиться в основном на примере критерия минимума числа соединений между ними [Фадеева, 2009].

Наиболее распространенными способами решения данной задачи являются методы, основанные на теории графов. Самыми тривиальными и в то же время действенными из них являются последовательные алгоритмы компоновки узлов в множества и итерационные алгоритмы разрезания графа. Данные алгоритмы достаточно просты и позволяют быстро получить результаты. Однако, в общем случае, они могут привести к неэффективным результатам. Эти алгоритмы наиболее эффективны для графа, в котором число вершин графа G значительно больше числа вершин в любом куске: $n \gg n_1, n_2, \dots, n_i$, поскольку существует много возможностей для выбора вершин.

Однако есть альтернативные способы решения оптимизационных задач компоновки. Одним из наиболее перспективных и действенных из них является применение генетических алгоритмов. Генетический алгоритм – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем последовательного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию [Beyer, 2002; Норенков, 2002].

Лучшие особи среди остальных получают возможность «воспроизводить» потомство с другими особями популяции, что приводит к выводу новых особей, заключающих в себе случайные характеристики, полученные ими от родителей. Наименее доминирующие особи с более низкой вероятностью смогут воспроизвести потомков, так что свойства, которыми они обладали, будут постепенно исчезать в процессе эволюции. Подобным образом воспроизводится новая популяция допустимых решений, путем выбора лучших представителей предыдущего поколения, скрещивания их и получения множества новых особей.

Схема генетического алгоритма представлена на рисунке 1.

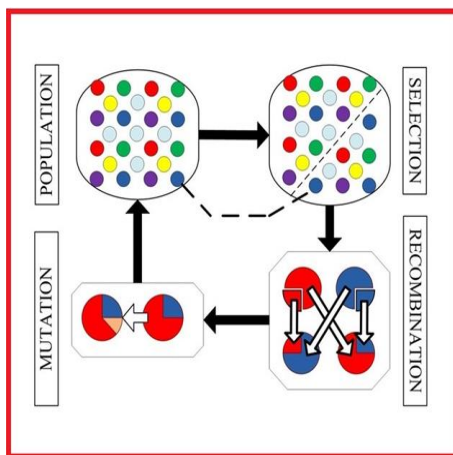


Рисунок 1 – Схема генетического алгоритма

Основная суть применения генетических алгоритмов базируется на трех принципах: кодирование, оценивание и воспроизводство.

Кодирование – это способ представления данных в генетическом виде. Как правило, представление данных производится в двоичном коде или в альтернативном ему коде Грея.

Замысел оценивания заключается в определении различий между особями в зависимости от их "успешности" относительно всей популяции. В ходе проведения операции оценивания не должно возникать ситуаций, в которых два почти одинаковых члена популяции имеют различные оценки приспособленностей, и, наоборот, когда качественно разные особи оцениваются одинаково [Норенков, Кузьмик, 2002; Ковшов, 2007].

Главная задача воспроизводства – получение новых вариантов решений-потомков из уже существующих для дальнейшего процесса эволюции поколений.

Генетические алгоритмы, как правило, применяют для решения сложных задач безусловной оптимизации, таких как NP-полные задачи оптимизации и т.д.

В данной работе рассматривается применение базовых принципов работы генетических алгоритмов для решения задач безусловной оптимизации.

Задача компоновки конструктивных узлов системы распределения электрической энергии летательного аппарата является одним из возможных вариантов задач оптимизации.

Большинство задач безусловной оптимизации выглядят следующим образом:

$$\min(\max)f(\bar{x}), \text{ где } \bar{x} = (x_1, x_2 \dots x_n) \quad x_i \in [a, b] \quad i = \overline{1, n} \quad (1)$$

где $f(\bar{x})$ – минимизируемая (максимизируемая) целевая функция, имеющая один глобальный экстремум.

Под решением задачи (1) будем понимать область значений $\bar{x} = (x_1, x_2 \dots x_n)$. Оптимальным решением задачи (1) будем считать область допустимых значений \bar{x} , при котором целевая функция $f(\bar{x})$ принимает максимальное (минимальное) значение.

Рассмотрим решение задачи оптимизации с использованием генетических алгоритмов, применимо к компоновке конструктивных узлов по отдельным коммутационным связкам.

Пусть требуется найти глобальный минимум функции, отражающей длину соединений между несколькими конструктивными узлами [0;7].

$$f(x) = x_1 + x_3 + x_2^2 + x_4 + x \quad (2)$$

где x – жгутовые соединения между конструктивными узлами системы распределения электрической энергии летательного аппарата.

В случае использования стандартных эвристических методов итерационного приближения для нахождения глобального минимума функции есть высокая вероятность попадания в локальный минимум при неудачном начальном приближении.

Для простоты положим, что x принимает лишь целые значения, т.е. $x \in \{2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$. Это допущение значительно облегчит изложение, оставив без изменения основную суть работы генетического алгоритма. Выберем случайным образом несколько чисел на отрезке $[2; 10]: \{2,3,4,5\}$. Будем рассматривать эти числа в качестве пробных решений нашей задачи.

Генетический алгоритм может быть представлен пятью этапами (процессами): кодирование, присвоение параметров приспособленности,

генерация новых особей в следующую популяцию, мутация и формирование новой популяции.

В первую очередь производится кодирование выбранных решений (особей) в двоичной форме: {010,011,100,101} и присвоение им параметра пригодности {-0.33,7.25,10.33,7.92}, который, в нашем случае, определяется целевой функцией: чем меньше значение целевой функции, тем более приспособленной является особь (определенное решение). Далее производится генерация новых особей в следующую популяцию с помощью оператора кроссинговера, суть которого заключается в обмене участками хромосом (двоичного кода) между двумя особями-родителями (начальными решениями).

Учитывая все изменения, полученные в ходе проведенных этапов, мы получим новое поколение, представленное в таблице 1.

Таблица 1 – Первичная генерация нового поколения

№	Особь	Выбранный номер для генерации	Вторая особь родитель	Точка кроссинговера	Особь-потомки
1	010	1	010	1	000
2	011	4	100		110
3	100	3	101	2	100
4	101	1	010		011

Следующим этапом выполнения генетического алгоритма является мутация с вероятностью 0,3, т.е. случайные изменения полученных в результате скрещивания ген. Для применения оператора мутации необходимо для каждой особи-потомка взять случайное число на отрезке [0; 1], и в случае, если выбранное значение оказалось меньше 0,3, то нужно инвертировать случайно выбранный ген (поменять 0 на 1 или наоборот) (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Поколение после мутации

№	Особь-потомки	Случайное число	Выбранный ген для мутации	Потомок после мутации	Приспособленность до мутации	Приспособленность после мутации
1	000	0,1	3	001	5	-5,42
1	000	0,1	3	001	5	

2	110	0,6	–	110	5	5
3	100	0,5	–	100	10,33	10,33
4	011	0,2	1	111	7,25	12,58

Теперь необходимо сформировать новую популяцию из выбранных особей-родителей и полученных особей-потомков. Для новой популяции выберем четыре особи с наибольшим значением приспособленности из числа «первичных» особей и особей-потомков (см. таблицу 3).

Полученную популяцию можно снова подвергнуть кроссинговеру, мутации и отбору особей в новое поколение для получения наиболее качественного решения задачи оптимизации.

В данном случае, взяв наиболее приспособленную особь 001 во втором поколении, можно сказать, что минимум целевой функции равен значению 5.42, соответствующему аргументу $x=1$. Мы берем наиболее адаптированного индивидуума из новой популяции и добавляем его в первый распределительный кусок, который физически является коммутационным узлом электрооборудования. Если необходимо разместить несколько устройств, мы можем взять 2 или 3 наиболее адаптированных индивидуума.

Таблица 3 – Формирование наиболее приспособленной популяции

№	Особи	Приспособленность	Новая популяция	Приспособленность особей в новой популяции
1	010	-0,33	001	-5,42
2	011	7,25	010	-0,33
3	101	7,92	110	5
4	100	10,33	011	7,25
5	001	-5,42		
6	110	5		
7	100	10,33		
8	111	12,58		

Благодаря применению генетических алгоритмов при решении оптимизационной задачи компоновки конструктивных узлов получилось избежать попадания в локальный минимум функции, что могло привести к некорректным результатам исследования. Использование генетических алгоритмов применимо для решения оптимизационных задач, однако их совместное применение с алгоритмами теории графов, специализированными для выполнения задач с наименьшими входными данными и сужению области поиска решений, будет считаться наилучшим. Генетические алгоритмы являются перспективным направлением алгоритмической теории решения

оптимизационных задач и достаточно просто интегрируются в большинство областей науки для решения локальных проблем оптимизации.

Литература

1. *Ковшов А. Н.* Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: принципы, системы и технологии CALS/ ИПИ: учеб. пособие для студ. вузов / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, И. М. Ибрагимов [и др.]. – М.: Академия, 2007. – 304 с.
2. *Норенков И. П.* Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
3. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов / И. П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
4. *Фадеева Г. А.* Проектирование распределительных электрических сетей: учебное пособие / Г.А. Фадеева, В. Т. Федин. Под общ. редакцией В. Т. Федина. – Минск. Высш. шк., 2009 – 365 с.
5. *Beyer H.-G., Schwefel H.-P., Wegener I.* How to analyse Evolutionary Algorithms. Technical Report No.CI-139/02. – University of Dortmund, Germany, 2002. – 238 p.

УДК 656.7.071:658.386

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ УРОВНЯ НАТРЕНИРОВАННОСТИ ЛЕТНОГО СОСТАВА СОГЛАСНО ПРОГРАММАМ ЛЕТНОЙ ПОДГОТОВКИ

Назаров П. С.

Кудряков С. А.

(научный руководитель)

*Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
(г. Санкт-Петербург)*

В работе предложена методика автоматизации процесса отслеживания уровня натренированности курсантов летных училищ путем разработки программного обеспечения реализации предложенных алгоритмов. Внедрение проекта позволит исключить субъективизм оценивания, снизить трудозатраты на обработку данных полетной информации, безошибочно планировать дальнейшую подготовку с учетом последовательности выполняемых упражнений, качества их выполнений и количества повторов.

Ключевые слова: безопасность полетов, наземные устройства обработки полетной информации, техника пилотирования, нормативы оценивания, программы летной подготовки, уровень натренированности.

1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА НАТРЕНИРОВАННОСТИ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Известно, что в процессе освоения каких-либо практических навыков степень их закрепления подчиняется экспоненциальному закону [Устинов, Шишкин, 2008; Устинов, 2011]

$$K_H = K_0 + (1 - e^{-aCn}),$$

где K_0 – начальное значение коэффициента натренированности;

K_H – степень закрепления навыков;

C – балльная оценка за полет;

n – количество упражнений, заданных программой подготовки;

a – коэффициент.

Уменьшение K_H является лишь функцией времени перерыва в тренировке и определяется выражением:

$$K_H(t) = K_H(t_0) \times e^{-b(t-t_0)},$$

где K_H – натренированность на момент времени t_0 ;

b – коэффициент, определяемый для каждого летчика экспериментально, исходя из возможных перерывов в летной деятельности;

t – текущий (заданный) момент времени.

Так как курсанты летных училищ летают с определенной периодичностью по расписанию и перерывы в полетах не более трех дней, коэффициентом растренированности K_p можно пренебречь, так как (K_p по расчетным данным равен 0.05). Пример графика изменения коэффициента натренированности показан на рис. 1.

В работе также предложена программа на алгоритмическом языке Delphi, позволяющая реализовать предложенные алгоритмы отслеживания уровня натренированности с учетом качества выполнения полетного задания, которая позволяет просмотреть процесс выполнения программы летной подготовки. Процесс перерывов в летной подготовке осуществляется автоматически, а выполнение полетного задания вносится вручную по количеству выполняемых упражнений и полученной балльной оценки за технику пилотирования.

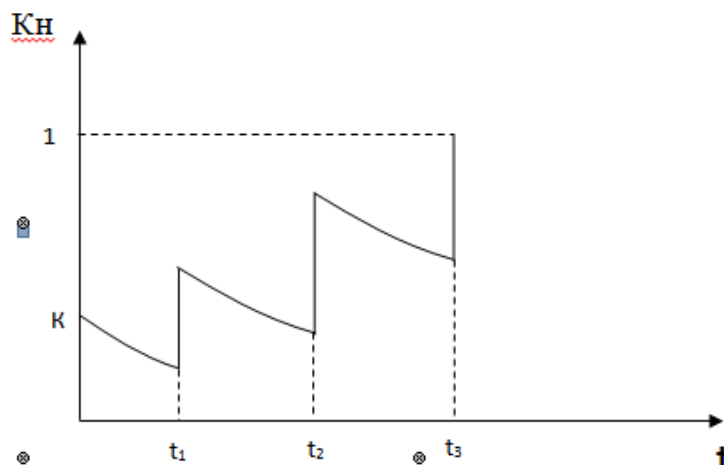


Рисунок 1 – График изменения коэффициента натренированности летного состава с учетом перерывов в подготовке

2. ОЦЕНКА ХОДА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ ПО ЭЛЕМЕНТАМ ЛЕТНОЙ ПОДГОТОВКИ

В программах подготовки летного состава существуют наборы однородных по составу фигур (элементов полета), упражнения, позволяющие произвести подготовку по тому или иному элементу летной подготовки.

Поскольку данные элементы являются важным структурным звеном программы подготовки, то целесообразно организовать контроль за ходом их отработки летным составом.

Каждый элемент летной подготовки включает в себя одно или несколько упражнений, выполняемых различное число раз. Таким образом, исходной информацией для контроля за ходом отработки элементов летной подготовки являются:

1. Состав и структура взаимосвязей между упражнениями по каждому элементу летной подготовки.
2. Оценки за каждое выполненное упражнение.
3. Уровень натренированности в выполнении каждого упражнения.
4. Временные интервалы между выполнением различных упражнений.

Если элемент летной подготовки включает в себя однородные упражнения по составу фигур и маневров, то натренированность элемента (K_n) рассчитывается по той же методике, что и для одного упражнения. Однако, как правило, упражнения строятся по нарастающей сложности.

При этом выполнение упражнения A_1 является необходимым условием для освоения упражнения A_2 , т.е. A_1 является составной частью упражнения A_2 . Анализируя последовательность освоения упражнений, можно показать, что завершающее упражнение включает в себя в той или иной мере компоненты всех или большинства предыдущих упражнений.

С другой стороны, последнее упражнение может содержать элементы, не выполняющиеся ни разу. Натренированность в данном случае, учитывая первостепенное значение вопросов безопасности полетов, должна определяться по совокупности наименее натренированных элементов упражнения.

Таким образом, под натренированностью по элементу летной подготовки будем понимать натренированность выполнения набора упражнений, адекватных по составу элементов полета завершающему, наиболее сложному упражнению по данному элементу летной подготовки в заданных полетных условиях.

Исходя из анализа структуры программы летной подготовки получаем следующую методику определения натренированности по элементам летной подготовки:

1. На основе анализа программы летной подготовки определяются аналогичные по составу элементов полета и сложности выполнения упражнения. По данным упражнениям определяется один коэффициент, который непрерывно контролируется.

2. Для каждого нового по составу элемента упражнения вводится новый коэффициент, начальное значение которого $K_n=0,05$.

3. Если два упражнения адекватны по составу, но выполняются в различных по сложности полетных условиях, то при вылете в более сложных условиях увеличиваются оба коэффициента натренированности.

4. Натренированностью по элементу летной подготовки считается натренированность по наиболее сложному упражнению. При этом контролируется натренированность по всем упражнениям, с различным составом элементов полета.

Анализ данных коэффициентов позволяет осуществить контроль за ходом отработки элементов летной подготовки, прогнозировать уровень натренированности на заданный момент времени, более эффективно формировать план летной подготовки авиационного полка.

Отслеживание уровня натренированности необходимо в первую очередь для оказания помощи командирам при составлении плановых таблиц полетов.

В настоящее время плановая таблица полетов – это документ установленного образца, в котором графически и текстуально изложены (отображены) решение на порядок проведения полетов, задания экипажам, составляется для каждого экипажа на летную смену командирами эскадрилий или летных отрядов.

Плановая таблица полетов может составляться в нескольких вариантах в зависимости от решаемых задач, уровня подготовки летного состава и ожидаемых метеоусловий. Исходными данными для составления плановой таблицы полетов являются:

- наличие самолетного парка;
- наличие летного и инженерно-технического состава;
- уровень натренированности летного состава и перерывы в летной работе;
- наличие в ОТБ средств наземного обслуживания общего пользования.

Создание плановой таблицы полетов вручную сопряжено с определенными трудностями, обусловленными трудоемкостью процесса составления по причине большого объема информации в разделе исходных данных. Поэтому для облегчения работы командующего состава при составлении плановых таблиц полетов планируется создание компьютерных баз данных наличия в полку самолетов, наличия летного и ИТС, уровня натренированности летного состава и перерывов в летной работе, наличия средств НООП в ОБАТО. Обращение к созданным базам окажет существенную помощь при планировании полетов.

Результаты приведены на распечатках (см. рис. 2-7).

3. ПРИМЕРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ

На рисунке 2 показано стартовое окно запуска программы

Стартовое окно

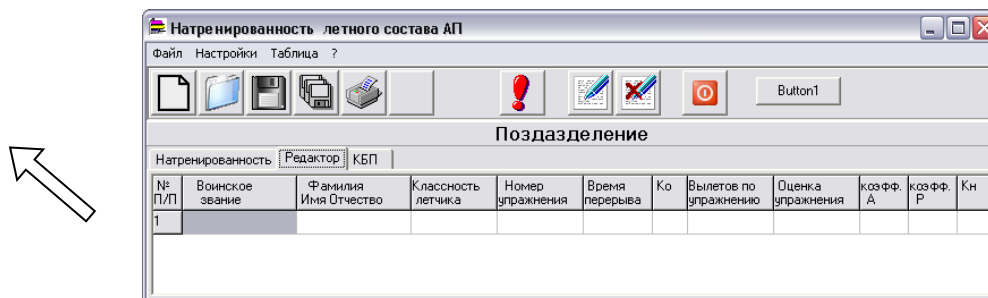


Рисунок 2 – Стартовое окно программы

Далее выбирается база данных для конкретного подразделения. Пример загрузки данных, например, для первой эскадрильи (отряда) показан на рис. 3.

На рис. 4 можно просмотреть базу натренированности выбранной эскадрильи с количественными показателями номеров упражнений, классности летчика (для курсантов летных училищ его можно исключить), количество вылетов по заданному упражнению и требуемое количество, качество выполнения полетного задания по 5 балльной шкале оценивания, алгоритмы расчета которых подробно изложены в работах [Устинов, Шишкин, 2008; Устинов, 2011; Устинов, Кашковский, 2013; Устинов, Назаров, 2016], общую оценку за упражнения с учетом качества выполнения отдельных элементов полетного задания [Шишкин, 2007; Устинов, 2020] и, главное, общую оценку уровня натренированности для дальнейшего планирования летной подготовки каждого курсанта.

Программа также позволяет наглядно просмотреть график отслеживания уровня натренированности, что также имеет значительный вес при планировании летной подготовки, (рис. 5), а для отслеживания уровня натренированности летного состава авиакомпаний и, в частности, для военной авиации можно использовать дополнительные функции, показанные на рис. 6, 7.

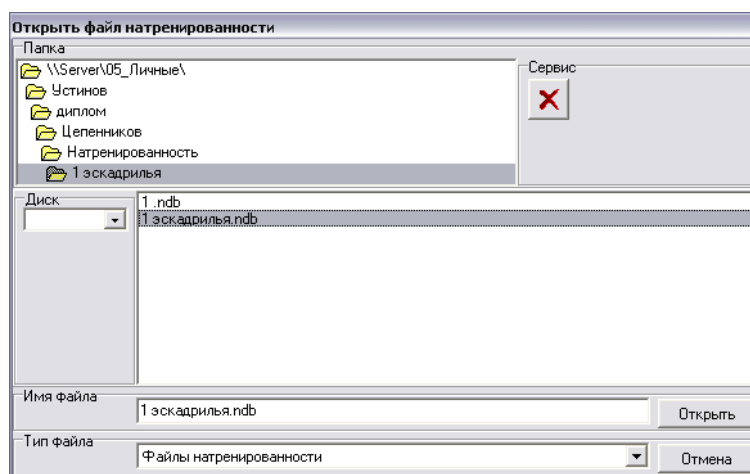


Рисунок 3 – Пример загрузки базы данных

Натренированность летного состава АП

1 эскадрилья

№ П/П	Воинское звание	Фамилия Имя Отчество	Классность летчика	Номер упражнения	Время перерыва	Ко	Вылетов по упражнению	Оценка упражнения	коэф. А	коэф. Р	Кн
9	лейтенант	Агеев Ю.П.	б/к	1	5	0,3	1	3	0,149		0,3
2	майор	Карацуба В.И.	1	10	4	0,8	8	4	0,149		0,8
1	майор	Громов И.Ю.	1	1	4	0,85	9	5	0,149		0,85
11	лейтенант	Цирнгаев Р.В.	б/к	1	2	0,3	1	3	0,149		0,9
3	капитан	Оленев М.В.	1	2	6	0,6	4	4	0,149		0,79
6	ст. лейтенант	Ленех Ю.Н.	3	11	4	0,45	3	3,5	0,149		0,5
5	капитан	Мишин И.Л.	2	2	7	0,55	4	4	0,149		0,55
4	капитан	Петров К.Р.	2	2	3	0,6	4	4	0,149		0,6
7	ст. лейтенант	Таржиев Р.М.	3	2	7	0,45	3	4	0,149		0,52
10	лейтенант	Терешков А.В.	б/к	2	5	0,3	2	3	0,149		0,3
8	лейтенант	Щербенок В.Н.	б/к	3	2	0,3	2	4	0,149		0,4

Рисунок 4 – База натренированности

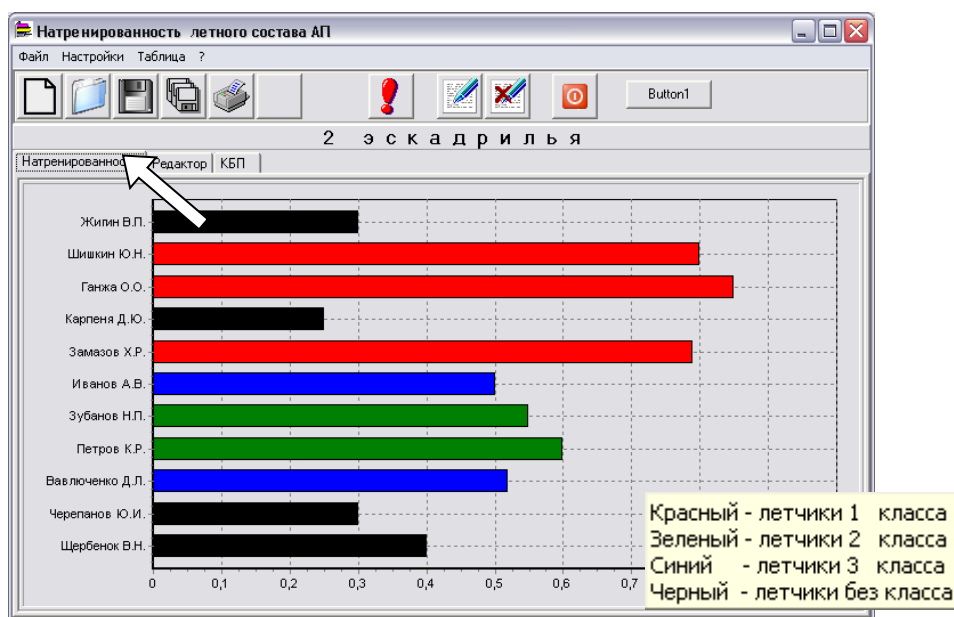


Рисунок 5 – Графическое представление изменения коэффициента натренированности


2 эскадрилья

№ П/П	Воинское звание	Фамилия Имя Отчество	Классность летчика	Номер упражнения	Время перерыва	Ко	Вылетов по упражнению	Оценка упражнения	коэф. А	коэф. Р	Кн
1	Номер по порядку	Ганжа О.О.	1	1	4	0,85	9	5			0,85
2	майор	Шишкин Ю.Н.	1	10	4	0,8	8	4			0,8
3	капитан	Замазов Х.Р.	1	2	6	0,6	4	4			0,79
4	капитан	Петров К.Р.	2	2	3	0,6	4	4			0,6
5	капитан	Зубанов Н.П.	2	2	7	0,55	4	4			0,55
6	ст. лейтенант	Иванов А.В.	3	11	4	0,45	3	3,5			0,5
7	ст. лейтенант	Вавлюченко Д.Л.	3	2	7	0,45	3	4			0,52
9	лейтенант	Щербенок В.Н.	б/к	3	2	0,3	2	4			0,4
9	лейтенант	Жигин В.П.	б/к	1	5	0,3	1	3			0,3
10	лейтенант	Черепанов Ю.И.	б/к	2	5	0,3	2	3			0,3
11	лейтенант	Карпеня Д.Ю.	б/к	1	2	0,3	1	3			0,25

Рисунок 6 – Сортировка по полям

2 эскадрилья											
Надресованность		Редактор	КБП								
№ П/П	Воинское звание	Фамилия Имя Отчество	Классность летчика	Номер упражнения	Время перерыва	Ко	Вылетов по упражнению	Оценка упражнения	коэф. А	коэф. Р	Кн
3	капитан	Звание л/с ов Х.Р.	1	2	6	0,6	4	4			0,79
5	капитан	Зубанов Н.П.	2	2	7	0,55	4	4			0,55
4	капитан	Петров К.Р.	2	2	3	0,6	4	4			0,6
9	лейтенант	Щербенок В.Н.	б/к	3	2	0,3	2	4			0,4
10	лейтенант	Черепанов Ю.И.	б/к	2	5	0,3	2	3			0,3
9	лейтенант	Жигин В.П.	б/к	1	5	0,3	1	3			0,3
11	лейтенант	Карпеня Д.Ю.	б/к	1	2	0,3	1	3			0,25
1	майор	Ганжа О.О.	1	1	4	0,85	9	5			0,85
2	майор	Шишкин Ю.Н.	1	10	4	0,8	8	4			0,8
7	ст. лейтенант	Вавлюченко Д.Л.	3	2	7	0,45	3	4			0,52
6	ст. лейтенант	Иванов А.В.	3	11	4	0,45	3	3,5			0,5

Рисунок 7 – Продолжение

Соответственно после сортировки при нажатии кнопки  в закладке «Надресованность» будет отображен сортированный

Литература

1. *Добрынин Н. А.* Один из подходов к разработке программного модуля оценки качества пилотирования с использованием программно-аппаратного комплекса «Монстр» / Н. А. Добрынин, В. В. Устинов // Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки. Сб. тезисов докл. Всероссийской научно-практической конференции «Авиатор», Воронеж, 12-14 февраля 2014 г. – Воронеж: ВУНЦ, ВВС, «ВВА», 2014.

2. *Устинов В. В.* // Один из подходов к планированию подготовки курсантов летных училищ с учетом уровня надресованности качества выполнения полетного задания / В. В. Устинов, П. С. Назаров // Международный информационно-аналитический журнал CREDE EXPERTO. – 2020. – № 1.

3. *Устинов В. В.* Алгоритмическое обеспечение поддержки принятия решений инструкторским составом по планированию летной подготовки (тезисы докладов). Международная научно-техническая конференция, посвященная 40-летию образования МГТУ ГА – М.: МГТУ ГА, 2011. – С. 40-50.

4. *Устинов В. В.* Методика и алгоритм объективного оценивания уровня надресованности летного состава (депонированная рукопись) / В. В. Устинов, Ю. Н. Шишкин, С. П. Полуэктов // Сборник рефератов деп.рукописей, вып. 82, серия Б, инф. Б. – М.: ЦВНИ МО РФ, 2008. – С. 151-153.

5. *Устинов В. В.* Методика объективной оценки профессиональной подготовленности летного состава маневренных самолетов / В. В. Устинов, В. В. Кашковский // Научный вестник МГТУ ГА. – 2013. – № 187 (1). – С. 161-163.

6. *Устинов В. В.* Один из подходов к оцениванию уровня подготовки курсантов летных училищ с учетом качества выполнения полетного задания / В. В. Устинов, С. П. Назаров // Сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции преподавателей, научных работников и аспирантов с международным участием «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации». –Иркутск: ИФ МГТУ ГА, 2016. – С. 84-91.

7. *Шишкин Ю. Н.* Методика объективного оценивания уровня обученности курсантов летных училищ и планирования их летной подготовки (статья) / В. В. Устинов, Ю. Н. Шишкин, А. С. Желтухин // Межвузовский сборник «Актуальные проблемы вузов ВВС», вып.23. – М.: МО РФ, ВВС, 2007. – С. 15-18.

ПРОБЛЕМЫ ПИЛОТИРОВАНИЯ ВС НА ЭТАПЕ ПОСАДКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Омшина Н. О.

Диль В. Ф.

(научный руководитель)

Иркутский филиал МГТУ ГА

(г. Иркутск)

В статье рассматривается совершенствование качества управления самолётом в продольном канале при пилотировании в директорном режиме.

Ключевые слова: пилотирование ВС, директорный режим, директорная система.

Авиационная отрасль на сегодняшний день – одна из самых наукоёмких и динамично развивающихся. Рост объёмов и темпов авиаперевозок приводит к более активной эксплуатации воздушных судов (далее – ВС), а вместе с этим увеличивается и нагрузка на экипаж.

Вопрос упрощения процедуры пилотирования ВС экипажем и увеличения, тем самым, уровня безопасности полётов является одним из важнейших для авиаконструкторской отрасли.

Одним из способов облегчить нагрузку на пилотов является передача части функций пилотирования автоматике самолёта или автопилот.

Автопилот – аппаратная система, которая имеет возможность вести транспортное средство по заданному маршруту. Автопилот самолёта создан для стабилизации всех параметров полёта судна и ведения по заданному курсу. При этом соблюдается установленная пилотом скорость и высота полета. Перед тем как переводить летательный аппарат на режим автопилота, необходимо создать условия полёта без скольжения или завала машины [Котик, 1984; Воробьев, 1995]. После стабилизации самолёта по всем плоскостям можно производить включение системы автоматического управления. При этом необходимо проводить регулярный контроль показателей.

Существует два режима пилотирования ВС – непосредственно автоматический и директорный режим.

Пилотирование в директорном режиме отличается от полностью автоматического тем, что директорная система выдает на стрелки прибора команды, по которым пилот выдерживает рассчитанный автоматикой оптимальный крен для выхода на траекторию полёта и вертикальную скорость (путём изменения угла тангажа) для выхода на глиссаду.

Перед постановкой задачи по совершенствованию существующих АСУ следует рассмотреть возмущения, действующие на ВС в полёте, а также недостатки существующих способов автоматического управления полётом.



Рисунок 1 – Директорный режим

Анализ возмущений, действующих на воздушное судно

Классификация возмущений, действующих на ВС:

- Атмосферные возмущения – циклоны и антициклоны, определяющие, в частности, скорость и направление ветра, а также другие погодные явления.

- Инструментальные возмущения – ошибки индикации, вызванные непостоянством условий измерения, недостатками измерительных устройств и применяемых методов измерения, несовершенством органов чувств наблюдателя.

- Возмущения случайного характера – делятся на низкочастотные и высокочастотные. Они действуют на динамический контур управления «ВС – САУ». Низкочастотные возмущения – составляющие ветра (вертикальная и горизонтальная), а также инструментальные погрешности трактов курсовых и глиссадных приемников. Высокочастотные возмущения – радиопомехи, порывы ветра, турбулентность и резкие моменты сил.

Кроме перечисленных возмущений, на управление тягой двигателя также действуют моментные возмущения. Когда режим горизонтального полета (или полета по маршруту) сменяется режимом посадки, на ВС начинает действовать разгоняющая сила (проекция силы веса, направленная по скорости полета). В посадочной конфигурации закрылков скорость ВС ограничена и для поддержания скорости полета в заданном диапазоне пилот управляет тягой двигателя, поскольку невозможно управлять скоростью при помощи руля высоты (в режиме посадки посредством руля высоты поддерживается полет ВС по глиссаде) [Белгородский, 1972].

Из вышесказанного следует, что посадка является наиболее сложным, ответственным и опасным этапом полёта. Укажем основные этапы посадки самолёта.

Этапы посадки самолёта

Этап посадки самолёта начинается с высоты 25 метров над уровнем порога ВПП (в случае стандартной курсо-глиссадной системы) и завершается пробегом по ВПП до полной остановки летательного аппарата. Посадка – самый сложный этап полёта, так как при уменьшении высоты уменьшается количество времени на исправление ошибок лётчика или автоматических систем [Котик, 1984; Воробьев, 1995].

Непосредственно посадке предшествует заход на посадку – часть полёта, включающая предпосадочное маневрирование в районе аэродрома с постепенным изменением конфигурации летательного аппарата из полётной в посадочную. Заход на посадку начинается на высоте не менее 400 метров. Скорость захода на посадку должна превышать скорость сваливания при данной конфигурации летательного аппарата не менее чем на 30 %. Заход на посадку завершается либо посадкой, либо уходом на второй круг. Решение о посадке пилот обязан принять не ниже высоты принятия решения.

Воздушная часть посадки длится порядка 6 – 10 секунд и включает:

- **Выравнивание** – часть посадки, во время которой вертикальная скорость снижения на глиссаде практически уменьшается до нуля; начинается на высоте 8 – 10 метров и завершается переходом к выдерживанию на высоте 0,5 – 1 метр.

- **Выдерживание** – часть посадки, во время которой продолжается дальнейшее плавное снижение аппарата с одновременным уменьшением скорости и увеличением угла атаки до значений, при которых возможно приземление и пробег.

- **Парашютирование** – часть посадки, которая начинается при уменьшении подъёмной силы крыла и характеризуется ростом вертикальной скорости; однако из-за малой высоты выдерживания при контакте летательного аппарата с землёй вертикальная скорость незначительна.

- **Приземление** – контакт летательного аппарата с земной поверхностью.

Во всех случаях выравнивание оказывается необходимым этапом посадки, оно также является одним из наиболее сложных этапов.

Автоматизация процессов управления продольным движением самолета при посадке, содержащей все перечисленные этапы, связана со значительными трудностями. Задача существенно упрощается, если исключить выдерживание и парашютирование как отдельные этапы [Воробьев, 1995]. Тогда она в основном сводится к автоматизации выравнивания и пробега. Так обычно и поступают.

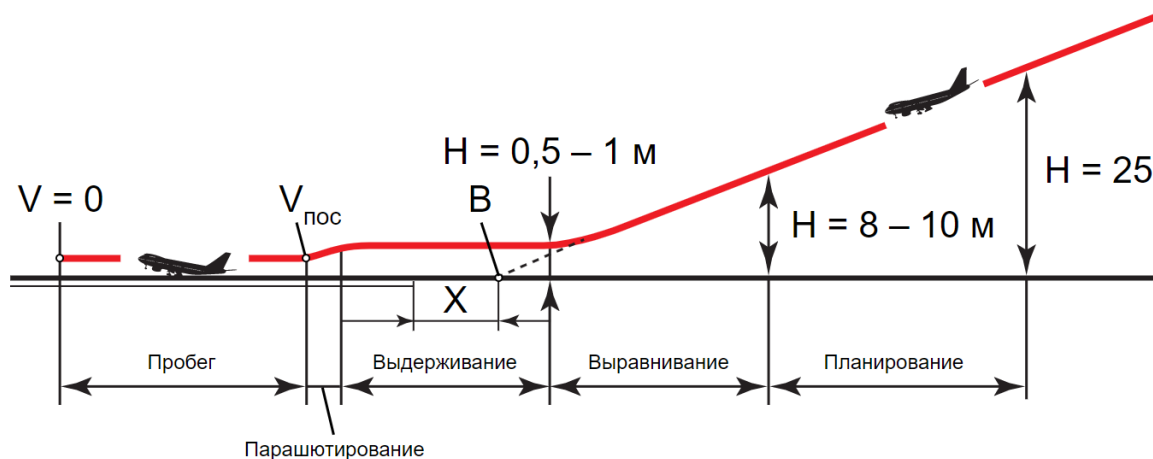


Рисунок 2 – Этапы посадки самолёта

Способы автоматизации посадки

Традиционный способ автоматического управления самолетом при посадке заключается в выдерживании заранее заданной траектории полета и заданной горизонтальной скорости самолета. Заданная траектория при этом рассчитывается как оптимальная траектория для подвода самолета к ВПП в желаемой точке касания, а заданная горизонтальная скорость определяется как оптимальное значение горизонтальной скорости самолета относительно воздуха (далее – воздушной скорости), обеспечивающей требуемую подъемную силу. При нахождении самолета над ВПП на заранее определенной высоте производится сброс тяги двигателей, в результате чего самолет опускается к ВПП в расчетной точке касания.

Однако в условиях изменчивого продольного ветра описанный выше способ не обеспечивает безопасной посадки. Например, при осуществлении посадки в условиях встречного ветра и резком его ослаблении воздушная скорость самолета также резко снизится, что приведет к опасной потере подъемной силы, а значит и высоты полета. Даже в благоприятном случае возврат к заданной траектории путем набора воздушной скорости и коррекции высоты вызовет нежелательные колебания, которые несут дополнительные риски утраты управляемости самолета [Воробьев, 1995].

В то же время, если посадка производится при попутном ветре, то его резкое ослабление увеличит воздушную скорость самолета и вызовет рост подъемной силы. Самолет может неконтролируемо набрать высоту, и в этом случае возврат на заданную траекторию будет сопровождаться ростом вертикальной скорости, создавая риск жесткой посадки.

Способ коррекции заданной горизонтальной скорости самолета заключается в установлении пилотом целевой воздушной скорости с учетом скорости ветра. При этом действует ограничение: целевая воздушная скорость не может превышать заданной воздушной скорости, увеличенной на некоторую максимальную скорость ветра.

Недостаток данного способа состоит в том, что он не обеспечивает возможность автоматического управления, и, если ветер изменится, пилот просто не успеет сделать необходимые корректировки.

Преимущества директорного режима посадки

Частично устранить вышеуказанные недостатки призван директорный режим управления ВС. Заход в директорном режиме отличается от автоматического тем, что директорная система выдает на стрелки прибора команды, по которым пилот сам создает рассчитанный автоматикой оптимальный крен для выхода на траекторию полета и рассчитанную автоматикой оптимальную вертикальную скорость для выхода на глиссаду. Пилоту остается только выдерживать директорные стрелки в центре командного прибора [Белгородский, 1972].

Директорный способ управления появился как средство преодоления некоторых недостатков ручного управления самолетом, с одной стороны, и недостаточной надежности средств автоматического управления, с другой.

$$\Delta x_B = k_{лт} \delta_\tau$$

$$\Delta x_\varepsilon = k_{лк} \delta_\pi$$

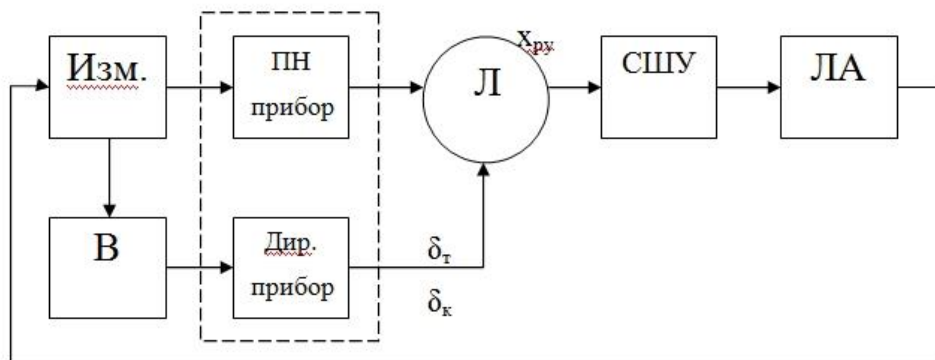


Рисунок 3 – Схема директорного управления ЛА

Система директорного управления заходом на посадку включает систему ручного (штурвального) управления, охваченную дополнительным контуром, формирующим на командно-пилотажном приборе командные сигналы. На пилота возлагается задача парирования этих командных сигналов.

При директорном управлении уровень сложности управления резко понижается и приближается по степени напряженности работы летчика к задаче выдерживания по приборам заданного углового положения ЛА.

Траекторию полета самолета в пространстве можно рассматривать состоящей из двух составляющих: в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На директорный прибор целесообразно выводить два командных сигнала: координату управления боковым движением $Z_{бок}$ и продольным движением самолета $h_{прод}$.

Как показали исследования [Белгородский, 1972; Михалев, 1974], наиболее удобными координатами при управлении боковым траекторным движением является угол крена самолета, а при управлении продольным

траекторным движением – угол тангажа или интеграл нормальной перегрузки. Такой выбор координат управления позволяет обеспечить минимальную нагрузку пилота, реализацию закона управления вычислителя с большой степенью унификации для директорного и автоматического режимов, плавное переключение с директорного режима на автоматический и наоборот.

Переход к автоматическому управлению происходит путем подключения основного вычислителя к сервоприводу каналов автоматического управления.

При директорном управлении летчик должен по существу выполнять функции сервопривода.

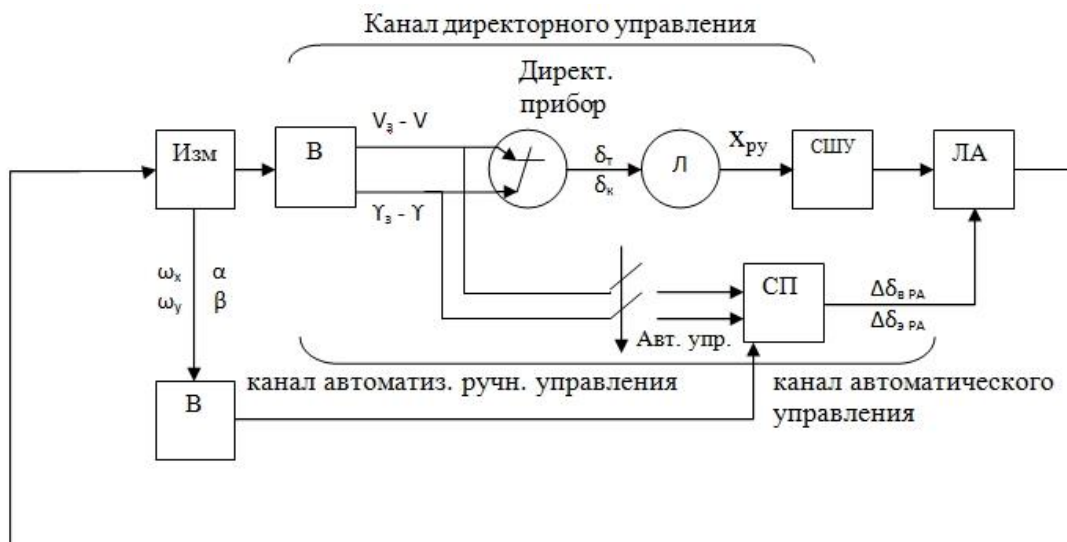


Рисунок 4 – Связь директорного и автоматического управления ЛА

Описание изобретения

Целью описанного изобретения является совершенствование директорного режима управления, а именно обеспечение минимальной вертикальной скорости самолета в точке касания ВПП, а также обеспечение нахождения точки касания на заданном участке ВПП в условиях изменяющегося продольного ветра.

Для достижения поставленной цели предложен способ управления самолетом в продольном канале при посадке, в котором самолету сообщают целевую воздушную скорость, а руль высоты поворачивают на целевой угол поворота.

Целевую воздушную скорость рассчитывают как сумму заданной воздушной скорости и величины, пропорциональной скорости ветра, взятой с соответствующим знаком (положительным – при попутном ветре, отрицательным – при встречном). Целевой угол поворота руля высоты рассчитывают как сумму заданного угла поворота, взятого с противоположным знаком угла, пропорционального скорости ветра, и взятого с противоположным знаком угла, пропорционального производной от скорости ветра. Сброс тяги двигателей при этом осуществляют при снижении вертикальной скорости самолета до заданного значения.

Литература

1. Белгородский С. Л. Автоматизация управления посадкой самолета / С. Л. Белгородский. – М.: Транспорт, 1972. – 352 с.
2. Воробьев В. Г. Автоматическое управление полетом самолетов: Учебник для вузов / В. Г. Воробьев, С. В. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1995. – 448 с.
3. Котик М. Г. Динамика взлета и посадки самолетов / М. Г. Котик. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
4. Михалев И. А. Системы автоматического и директорного управления самолетом / И. А. Михалев, Б. Н. Окоемов, И. Г. Павлина, М. С. Чикулаев, Ю. Ф. Кисилев. – М.: Машиностроение, 1974. – 232 с.

УДК 004.94

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРПРЕТАТОРА REASE НА ЯЗЫК МОДЕЛИРОВАНИЯ GPSS В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Прискока Д. Д., Зайцев М. Д.

Титов Ю. П., канд. техн. наук
(научный руководитель)

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(г. Москва)

При обучении студентов информационным технологиям в области авиации и космонавтики чаще всего рассматривается система имитационного моделирования GPSS. Данная система имитационного моделирования обладает прозрачностью работы и лаконичностью с точки зрения работы вычислительного устройства. Тем не менее система GPSS недостаточно наглядна и обладает недостатками (с точки зрения современного языка программирования), присущими языкам программирования 80-х годов. Предлагается применение языка моделирования Rease в качестве интерпретатора на GPSS код, но обладающим свойствами современных языков программирования. В данной работе представлена разработка блока программного обеспечения, позволяющего осуществлять работу с процедурами языка Rease. Данная разработка позволяет выделять отдельные блоки модели, например, обслуживающие устройства (Sieze – Release в модели GPSS) в отдельную процедуру и создавать повторно используемые области кода в виде передачи в процедуру определенных параметров. Кроме того, упростилось форматирование, наглядность и удобство обозначения переменных для интерпретатора GPSS. В работе предложено две тестировочные GPSS модели. Модель с множеством переходов, созданная для обучения основам моделирования дискретных систем. Одна из программных реализаций для моделирования алгоритма управления потоком заявок для систем реального времени – Earliest Deadline First (EDF). В рамках учебного процесса, подход, связанный с написанием GPSS программы на языке моделирования Rease показал себя очень хорошо. Студенты быстрее выполняют лабораторные работы, могут применять знания, полученные в результате изучения языков программирования и составлять сложные GPSS модели в рамках курсовых работ.

Ключевые слова: имитационное моделирование, язык моделирования, GPSS, Pease, операционная система реального времени, EDF.

Введение

На сегодняшний день авиационная и аэрокосмическая отрасли остаются одними из самых технически передовых и сложных в нашей стране. Перед ними стоит колоссальная по масштабу задача достижения и сохранения устойчивого превосходства продукции по технико-экономическим характеристикам, реализовать которую невозможно без опережающего развития научно-технологического потенциала во всей отрасли в целом.

Одним из главных направлений в развитии научно-технологического потенциала авиационной отрасли является совершенствование существующих встроенных операционных систем реального времени и поиск новых подходов в их разработке, так как от их качества и надежности зависит безопасность полетов.

Для этого необходимо привлечение в отрасль большого числа молодых специалистов в области информатики и вычислительной техники, которое можно обеспечить путем разработки современных и информативных образовательных технологий, нехватка которых остро ощущается в российских университетах: по сей день роль средства имитационного моделирования выполняет язык моделирования общего назначения GPSS. Несмотря на его безусловные преимущества, он морально устарел и не отвечает современным требованиям, предъявляемым к языку программирования.

В настоящей публикации излагаются результаты реализации нового подхода к упрощению разработки на языке GPSS – интерпретации более понятного современному разработчику и простого в программировании языка Pease в GPSS код.

Преимущества и недостатки GPSS

GPSS – язык моделирования общего назначения, заточенный преимущественно для описания моделей систем массового обслуживания. Это позволяет представить сложную систему со стохастическим характером функционирования как совокупности взаимосвязанных элементов, обрабатывающей поток поступающих в нее требований (заявок, транзактов).

Одним из неоспоримых преимуществ языка GPSS, отличающим его от других средств имитационного моделирования, является возможность производить трассировку имитационной модели. В языке GPSS есть специальные блоки TRACE и UNTRACE, позволяющий выделить область кода, которую необходимо выделить пошагово. Эта функциональная возможность позволяет существенно сэкономить время разработчика на поиск ошибки в коде программы, а также осуществлять проверку адекватности разработанной имитационной модели по процессу ее функционирования.

Однако, несмотря на все вышеперечисленные достоинства, язык GPSS за свою более чем пятидесятилетнюю эволюции [Ingolf Stahl, 2011] не стал более дружелюбным к разработчикам, тем более для студентов, изучающих основы

имитационного моделирования сложных систем. Наиболее существенными недостатками языка GPSS с точки зрения авторов данной публикации являются:

1. Устаревший на фоне современных языков программирования синтаксис и строго фиксированный формат записи программы. Разработчик вынужден тратить свое время на форматирование текста программы.

2. Отсутствие в языке GPSS средств выделения части программного кода в логическую сущность, соответствующей отдельному элементу или совокупности элементов реальной системы. Структура программы, написанной на языке GPSS, не отражает структуру описываемой имитационной модели синтаксическими средствами.

3. Необходимость повторного использования существующего кода. В языке нет средств, аналогичных функциям в современных языках программирования, таких как C, Java или Python. Это делает код программы неоправданно громоздким.

Другие исследователи к недостаткам GPSS также относят простейший интерфейс пользователя, недостаточно функциональный редактор моделей, слабо автоматизированную технологию проведения исследований, устаревший способ представления и анализа результатов и т.д. [Власов, 2009].

Все вышеперечисленные недостатки стали основной причиной возникновения множества программных инструментов, главной задачей которых стало преодоление всех несовершенств языка моделирования GPSS. К ним можно отнести GPSS World [<http://www.minutemansoftware.com/features.htm>], aGPSS [Ingolf Stahl, 2011; <http://agpss.com/advantages.html>], JGPSS [Pau Fonseca i Casas, 2009], GPSS Studio [http://elina-computer.ru/static/about_gpss_studio.html] и др. Несмотря на значительные успехи разработчиков данных программных средств в упрощении разработки имитационных моделей на языке GPSS, ни в одном из них не упрощается синтаксис языка для более удобного непосредственного программирования модели.

Язык моделирования Pease

Авторы данной публикации поставили задачу разработать на языке программирования Python интерпретатор нового языка моделирования, лишенного указанных во введении недостатков языка GPSS и не абстрагирующий процесс программирования имитационной модели графическими средствами.

Новый язык моделирования обладает следующими достоинствами, удобными для разработчиков:

1. Отсутствие необходимости специально форматировать текст программы;

2. Часть программного кода можно объединить в одно именованное, синтаксически обособленное выражение, что помогает структурировать код и придавать ему большую наглядность;

3. Если в программе необходимо многократно описывать один и тот же элемент системы с разными параметрами обработки транзактов, разработчик может один раз описать общую схему описываемого элемента в виде

именованного выражения с параметрами, а затем вызывать его в любом месте программы одной строчкой кода.

В остальном новый язык моделирования Pease соответствует возможностям языка GPSS, однако их применение также было значительно упрощено:

1. Основным блоком кода на Pease является блок `main {}`. При генерации этого блока автоматически создаются операторы `SIMULATE` и `END`. Между этими операторами последовательно генерируется код из блока `main`;

2. Для описания устройства используется конструкция `ИМЯ_УСТРОЙСТВА {}`, код которого должен быть выполнен в устройстве и помещается в фигурные скобки. Такой синтаксис позволяет предотвратить опечатки в названии устройства в открывающем и закрывающем операторе;

3. Существует несколько проверок имен сущностей в программе, которые не позволяют использовать имена, которых либо не существует, либо которые не совпадают по типу. Это позволяет избежать дублирования одних и тех же имен в разных операторах;

4. Параметры стандартных операторов, а также выражений с параметрами – типизированы, что позволяет указать на эту ошибку еще на этапе интерпретации кода, до запуска имитационной модели.

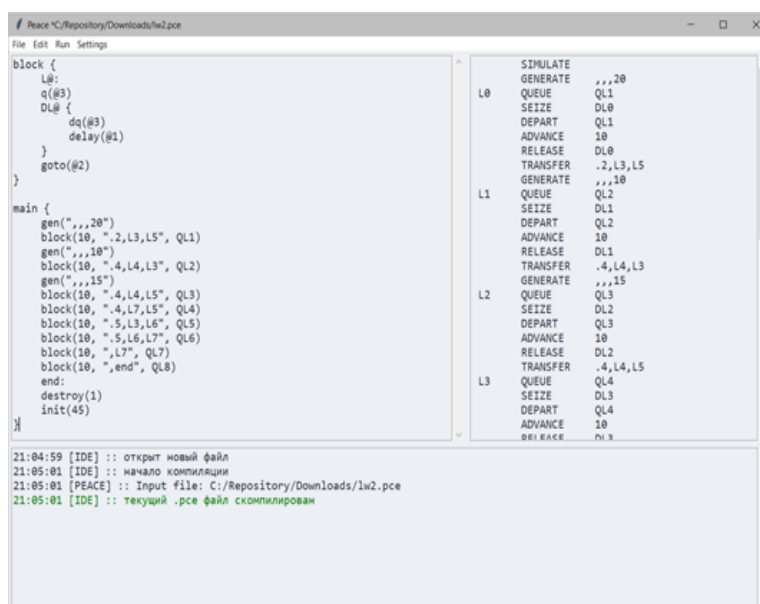


Рисунок 1 – Общий вид интерактивной среды программирования для языка Pease

На рис. 1 представлен общий вид интерактивной среды программирования, в которой была написана программа, описывающая систему массового обслуживания. Левое поле отведено для текстового редактора программы на языке Pease, в окне справа отображается результат интерпретации – GPSS код. В нижнем поле производится вывод информационных сообщений.

Как можно увидеть, Pease код выполняет свою основную функцию – представлять структуру имитационной модели более явно, быть более читаемым и емким.

Особенности операционных систем реального времени

Одним из основных направлений в области развития научно-технической базы авиационной отрасли в нашей стране является разработка встроенных операционных систем реального времени. В отличие от операционных систем общего назначения, в операционных системах реального времени, согласно спецификации UNIX, необходимо обеспечить требуемый уровень сервиса в определённый промежуток времени. Говоря простыми словами, это означает, что такие операционные системы необходимы в такой предметной области, где необходима быстрая реакция на события (примером может быть бортовая авионика).

Основные сервисы операционных систем реального времени, такие как управление задачами, взаимодействие между ними и синхронизация, должны работать по специальным алгоритмам, имеющим определенную специфику реализации для неподготовленного разработчика. Отсюда имеется необходимость разработки образовательных подходов к представлению особенностей данной предметной области будущим специалистам. Одним из таких может быть разбор алгоритма EDF, который был запрограммирован на языке Pease авторами настоящей публикации.

Реализация алгоритма EDF

Earliest Deadline First (EDF) – оптимальный алгоритм динамического планирования приоритетов, используемый в системах реального времени. Он может быть использован как для статического, так и для динамического планирования в реальном времени [Giorgio, 2011].

Алгоритм планирования EDF не требует, чтобы задачи или процессы были периодическими, а также, чтобы задачи или процессы требовали фиксированного времени выполнения на процессоре. В EDF любая выполняющаяся задача может быть вытеснена, если любой другой периодический экземпляр с более ранним сроком завершения готов к выполнению и становится активным [Michael Short, 2011].

То есть, назначение по ближайшему сроку завершения гарантирует, что все крайние сроки будут соблюдены при условии, что общая загрузка процессора не превышает 100 %. В сравнении с использованием фиксированных приоритетов, планирование по ближайшему сроку завершения гарантирует соблюдение всех крайних сроков при большей загрузке.

```

process {
  gen(#1)
  priority(#2)
  assign(#3)
  goto("PROC")
}

processor {
  PROC:
  q(PQ1)
  link("CHAIN,PR,CPUP")
  CPUP:
  cpu {
    dq(PQ1)
    delay("P1")
    unlink("CHAIN,CPUP,1,BACK")
  }
  destroy(1)
}

main {
  # First param - period, second param - priority, third param - execution time
  process("20,,0", 7, "1,3")
  process("5,,0", 4, "1,2")
  process("10,,0", 8, "1,2")
  processor()
  init(7)
}

```

```

SIMULATE
GENERATE 20,,0
PRIORITY 7
ASSIGN 1,3
TRANSFER ,PROC
GENERATE 5,,0
PRIORITY 4
ASSIGN 1,2
TRANSFER ,PROC
GENERATE 10,,0
PRIORITY 8
ASSIGN 1,2
TRANSFER ,PROC
PROC QUEUE PQ1
LINK CHAIN,PR,CPUP
CPUP SEIZE cpu
DEPART PQ1
ADVANCE P1
UNLINK CHAIN,CPUP,1,BACK
RELEASE cpu
TERMINATE 1
START 7
END

```

```

12:24:45 [IDE] :: открыт новый файл
12:24:49 [IDE] :: начало компиляции
12:24:49 [PEASE] :: Input file: C:/article.pce
12:24:49 [IDE] :: текущий .pce файл скомпилирован
12:24:58 [IDE] :: файл успешно сохранен

```

Рисунок 2 – Реализация алгоритма EDF в Pease коде

В представленном на рис. 2 Pease-коде определено два блока – process и processor. Блок processor содержит в себе описание модели процессора, исполняющего процессы согласно алгоритму EDF. Процесс, находящийся в очереди на исполнение, с ближайшим сроком завершения извлекается из очереди и исполняется.

Relative Clock: 17.0000 Absolute Clock: 17.0000

Block	Current	Total	Block	Current	Total
1		1	11		2
2		1	12		2
3		1	PROC		7
4		1	14		7
5		4	CPUP		7
6		4	16		7
7		4	17		7
8		4	18		7
9		2	19		7
10		2	20		7

Рисунок 3 – Результаты проведения имитационного моделирования

Блок process содержит описание некоего периодического процесса. В качестве параметров блок принимает периодичность выполнения процесса, время, затрачиваемое на обработку процессором данного процесса, а также его приоритет. Таким образом, благодаря возможности переиспользования блоков кода, однажды определив логику блока process, её можно неоднократно переиспользовать для создания множества процессов, тем самым сократив количество кода.

Выводы

Акцентируя внимание на важности создания новых образовательных технологий и подходов к изучению специфики разработки встроенных систем реального времени, авторами настоящей публикации представлены результаты создания нового средства моделирования Pease на основе языка моделирования общего назначения GPSS. В отличие от большинства аналогичных программных средств и систем моделирования, в Pease упор делается на упрощении синтаксических конструкций языка, а не на графическом представлении структуры программы. Это делает его применение удобным для студентов, знающих основы программирования на современных языках.

Как было продемонстрировано на примере реализации алгоритма EDF, написание программ на языке Pease значительно упрощает студентам понимание структуры имитационной модели. Особенно это справедливо для составления модели системы с большим числом взаимодействующих друг с другом элементов и несколькими источниками транзактов, которой может быть любая другая многопоточная или многопроцессорная система.

Очевидно, что язык Pease и связанная с ним интерактивная среда разработки нуждается в дальнейшем усовершенствовании. В ближайшее время планируется:

1. Внедрить внутренние переменные языка Pease, которые можно будет использовать в вычислениях во время интерпретации, а после использовать во время моделирования.
2. Внедрить стандартные для современных языков программирования операторы условия и циклов (if - elseif - else, while, for и т.п.) для упрощения организации циклов и ветвления.
3. Обеспечить полный анализ текста программы и выявление конфликтов использования имен переменных, выражений, имен устройств, очередей и т.д.
4. Возможность подключения уже написанных программ в качестве сторонних модулей для предоставления возможности разработчику составлять удобные библиотеки шаблонов.
5. Усовершенствовать возможности текстового редактора, в частности, добавить поиск по ключевому слову и подсветку синтаксиса.
6. Внедрить поддержку СУБД для автоматизации проведения исследований.

Литература

1. Власов С. А. Язык моделирования GPSS World и системы автоматизации имитационных исследований: опыт применения и перспективы использования/ С. А. Власов, В. В. Девятков, Т. В. Девятков // ИММОД 2009. – 2009. – С. 11-18.
2. О GPSS Studio. / Элина-компьютер [Электронный ресурс] URL: http://elina-computer.ru/static/about_gpss_studio.html (дата обращения: 29.09.2020)
3. Giorgio C. B. Hard Real-Time Computing Systems / С. В. Giorgio. – Boston, MA: Springer, 2011. – 540 с.
4. GPSS World Features. / Minuteman Software Computer Simulation [Электронный ресурс] URL: <http://www.minutemansoftware.com/features.htm> (дата обращения: 29.09.2020).

5. *Ingolf Stahl, Richard Born, Henry Herper, James O. Henriksen* GPSS 50 years old, but still young / Ingolf Stahl, Richard Born, Henry Herper, James O. Henriksen // Proceedings – Winter Simulation Conference December 2011. – 2011. – С. 3952-3962.

6. *Michael Short*. Improved schedulability analysis of implicit deadline tasks under limited preemption EDF scheduling / Short Michael. // ETFA2011. – Toulouse, France: IEEE, 2011. – С. 110-126.

7. *Pau Fonseca i Casas, Josep Casanovas* JGPSS, An Open Source GPSS Framework to Teach Simulation. // Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, WSC 2009, Hilton Austin Hotel, Austin, TX, USA, December 13-16. – 2009. – С. 256-267.

8. Some advantages of aGPSS / aGPSS – Simulation made simple [Электронный ресурс] URL: <http://agpss.com/advantages.html> (дата обращения: 29.09.2020)

УДК 629.359; 629.052.9

МОБИЛЬНАЯ БЕСПИЛОТНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ ТЕЛЕЖКА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ БАГАЖА И ГРУЗОВ В АЭРОПОРТУ

**Романьков С. А.,
Круглов С. П., д-р техн. наук**

*Иркутский государственный университет путей сообщения
(г. Иркутск)*

Рассматривается возможность создания универсальной автоматизированной мехатронной балансирующей тележки для перевозки грузов и багажа в аэропорту. Данная тележка в сравнении с известными аналогичными решениями будет обладать компактностью, маневренностью, автономностью. Из-за заранее неизвестного перевозимого груза закон управления по балансировке тележки предлагается построить на адаптивном уровне с использованием алгоритма текущей параметрической идентификации. Также предлагается возможность как дистанционного ручного управления тележкой, так и автономного ее перемещения в заданную точку с решением задачи навигации и обхода препятствий. На численном примере показана возможность построения алгоритма управления балансированием и перемещением тележки.

Ключевые слова: обслуживание пассажиров, адаптивное управление, двухколесная балансирующая тележка, внешнее возмущение, устойчивость.

Существует известная тенденция по повышению качества обслуживания пассажиров в транспортных узлах таких как аэропорты, железнодорожные вокзалы, автовокзалы и др. Особенно это касается маломобильных пассажиров, для которых создаются адаптированные пассажирские инфраструктуры и вокзальные комплексы (см., например, [Иловыйский, 2003; Программа повышения качества транспортного обслуживания]).

В настоящее время для перевозки вещей пассажиров широко используются ручные тележки (рисунок 1а). Они обладают простой и надежной конструкцией, но они не автоматизированные, громоздкие, неманевренные.

Кроме того, частой проблемой использования таких тележек является их отсутствие в нужном для пассажира месте.

Также в последнее время за рубежом все чаще появляются прототипы или даже действующие роботизированные системы для обслуживания пассажиров или перевозки багажа, примерами таких систем может служить – Vanderlande FLEET (рисунок 1б) [Developing autonomous baggage]. Система FLEET – это интеллектуальное автономное транспортное средство для облегчения процедуры сдачи багажа на борт транспортного средства. Она определяет наиболее оптимальный маршрут для данного времени и пассажира. Технология основана на использовании данных в реальном времени. Планирование маршрутов постоянно обновляется и оптимизируется для достижения максимально возможной пропускной способности. С помощью сенсорного экрана транзитный пассажир выбирает авиакомпанию своего стыковочного рейса, багажный робот FLEET забирает чемодан и перевозит на соответствующую багажную ленту для загрузки на борт самолета. Недостатком этого средства помощи пассажирам является отсутствие универсальности, малая маневренность и большие размеры.

Еще одним примером роботизированной системы является робот – приемщик багажа Leo, SITA (рисунок 1в) [<https://www.sita.aero/innovation/>]. Это полностью автономный, самодвижущийся багажный робот, способен регистрировать, печатать багажные бирки и перевозить до двух чемоданов с максимальным весом 32 кг. После того как пассажиры отсканируют свои посадочные талоны, бирки распечатываются, и их можно прикрепить к сумке. Когда сумки загружены и промаркированы, дверь багажного отсека закрывается, и робот показывает выход на посадку и время отправления. Затем Leo относит сумки прямо в зону обработки багажа, где они сортируются и отправляются на нужный рейс. Двери робота могут быть повторно открыты только оператором, выгружающим багаж в аэропорту. Leo оснащен системой компьютерного зрения, что позволяет ему не сталкиваться с пассажирами, роботами, а также с неподвижными препятствиями. Для подключения к информационным системам аэропорта роботы используют Wi-Fi сеть. Роботы также автоматически направляются к док-станции, когда возникает необходимость в подзарядке, или когда у них заканчиваются наклейки, квитанции или посадочные талоны. Недостатки здесь те же самые.

Для решения задачи индивидуальной транспортировки багажа и ручной клади пассажира внутри аэропорта (в т.ч. сдачи багажа), выполнения служебных задач по перевозке грузов и т.п. предлагается создать универсальную грузовую двухколесную балансирующую тележку (рисунок 1г), которая будет обладать свойствами компактности, малыми габаритами (намного меньше упомянутых систем и тележек), маневренностью (что важно в условиях плотного потока людей), удобства использования и автономного передвижения.

Предполагается, что эта тележка будет решать следующие основные задачи:

- перевозка грузов с широким диапазоном характеристик (включая пустую тележку) с обеспечением автоматической балансировки и перемещению по поверхности с разным наклоном и действием внешних возмущений;
- перевозка грузов в режиме ручного управления (посредством пульта дистанционного управления);
- автономная перевозка грузов с назначенной конечной точкой маршрута, что предполагает автономное построение маршрута между начальной и конечной точками маршрута;
- решение задач текущей навигации, а также объезд препятствий при следовании по маршруту;
- перемещение пустой тележки по вызову пассажира в назначенное место и др.



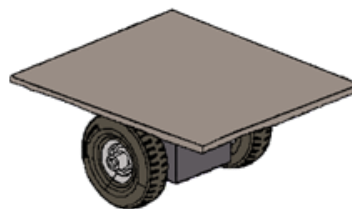
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Грузовые тележки

В целом эта универсальная тележка будет представлять собой мехатронную систему, включающую набор датчиков, систему управления приводными двигателями, один или несколько цифровых вычислителей для

обработки информации, решения задач навигации и формирования управления, два приводных двигателя и блок аккумуляторных батарей. В силу того, что тележка в исходном состоянии является неустойчивой, вопросы ее балансировки и устойчивого перемещения в условиях большой вариации параметров груза, внешних возмущений возлагаются на систему автоматического управления тяговыми двигателями тележки.

Наиболее часто используемым методом управления техническими системами является широко известное ПИД-регулирование [Astrom, 2006]. Исследования показывают [Круглов, 2020], что данный метод не справляется с поставленной задачей в условиях больших вариаций параметров перевозимых грузов, требуется внедрение адаптивной системы управления. Далее будет проведен анализ возможности использования системы адаптивного управления для выполнения задач балансировки при движении в указанных выше условиях.

Подробное описание математической модели для поставленной задачи для прямолинейного движения тележки приведено в работе [Круглов, 2020]. Здесь приведем лишь полученный результат, описывающий динамику относительно старших производных угла отклонения линии, связывающей центр масс груза с осью вращения колес тележки от вертикали и угла поворота колес (без учета их начальных состояний):

$$\begin{cases} \ddot{\gamma} = \chi^{-1} \begin{cases} m_{\Gamma} (l_{\Gamma}^2 + r_{\Gamma}^2) \left[M_{\text{дв}} - F_{\text{тр}} R_{\text{к}} + m_{\Gamma} R_{\text{к}} l_{\Gamma} \sin(\theta + \varphi_{\Gamma}) \cdot \dot{\varphi}_{\Gamma}^2 - \right] \\ - (m_{\text{к}} + m_{\Gamma}) g R_{\text{к}} \sin \theta \\ - m_{\Gamma} R_{\text{к}} l_{\Gamma} \cos(\theta + \varphi_{\Gamma}) [M_{\text{вн}} + m_{\Gamma} g l_{\Gamma} \sin \varphi_{\Gamma}] \end{cases} \\ \ddot{\varphi}_{\Gamma} = \chi^{-1} \begin{cases} - m_{\Gamma} R_{\text{к}} l_{\Gamma} \cos(\theta + \varphi_{\Gamma}) \left[M_{\text{дв}} - F_{\text{тр}} R_{\text{к}} + m_{\Gamma} R_{\text{к}} l_{\Gamma} \sin(\theta + \varphi_{\Gamma}) \cdot \dot{\varphi}_{\Gamma}^2 - \right] \\ - (m_{\text{к}} + m_{\Gamma}) g R_{\text{к}} \sin \theta \\ + [m_{\text{к}} (R_{\text{к}}^2 + r_{\text{к}}^2) + m_{\Gamma} R_{\text{к}}^2] (M_{\text{вн}} + m_{\Gamma} g l_{\Gamma} \sin \varphi_{\Gamma}) \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

где $\chi \triangleq [m_{\text{к}} (R_{\text{к}}^2 + r_{\text{к}}^2) + m_{\Gamma} R_{\text{к}}^2] m_{\Gamma} (l_{\Gamma}^2 + r_{\Gamma}^2) - m_{\Gamma}^2 R_{\text{к}}^2 l_{\Gamma}^2 \cos^2(\theta + \varphi_{\Gamma})$; φ_{Γ} – угол наклона линии, связывающей центр масс груза и ось вращения колеса, от вертикали; $\varphi_{\Gamma} = \varphi_{\Gamma} + \Delta\varphi$; φ_{Γ} – угол наклона тележки от вертикали; $\Delta\varphi$ – дополнительный угол отклонения центра масс груза из-за неточности расположения груза над осью колес при $\varphi_{\Gamma} = 0$; $\Delta\varphi = \arctg(\Delta x_{\text{гр}} / l_{\text{гр}})$, $\Delta x_{\text{гр}}$ – указанное смещение центра масс груза; γ – угол поворота колеса (колесной пары); θ – угол наклона опорной поверхности относительно горизонта; $m_{\text{к}}$ – масса колесной пары; m_{Γ} – масса груза; $R_{\text{к}}$ – радиус колеса; $r_{\text{к}}$ – радиус инерции колесной пары; r_{Γ} – радиус инерции груза; x, y – текущие координаты тележки в абсолютной системе координат OXY; x_{Γ}, y_{Γ} – текущие координаты центра тяжести груза; V – скорость тележки относительно поверхности; V_{Γ} – скорость центра тяжести

груза; $M_{\text{дв}}$ – момент приводного двигателя колесной пары; $F_{\text{тр}}$ – сила трения движения тележки; $M_{\text{вн}}$ – внешний момент, действующий на тележку, совместно с ненулевыми $\Delta\varphi$ и θ представляет собой внешнее неконтролируемое возмущение.

Эту модель далее используем для построения закона управления.

Из второго равенства (1), используя подход обратной модели [Круглов, 2019], можно записать, с использованием вводимых параметров a_1, a_2, a_3, \bar{a}_4 :

$$M_{\text{дв}} = \underbrace{\left[\frac{\chi}{-m_{\Gamma} R_{\text{к}} l_{\Gamma} \cos(\theta + \varphi_{\Gamma})} \right]}_{\triangleq a_1} \ddot{\varphi}_{\Gamma} + \underbrace{\left[-m_{\Gamma} R_{\text{к}} l_{\Gamma} \right]}_{\triangleq a_2} \sin(\theta + \varphi_{\Gamma}) \dot{\varphi}_{\Gamma}^2 +$$

$$+ \underbrace{\left[\frac{\left[m_{\text{к}} (R_{\text{к}}^2 + r_{\text{к}}^2) + m_{\Gamma} R_{\text{к}}^2 \right] m_{\Gamma} g l_{\Gamma}}{m_{\Gamma} R_{\text{к}} l_{\Gamma}} \right]}_{\triangleq a_3} \frac{\sin \varphi_{\Gamma}}{\cos(\theta + \varphi_{\Gamma})} +$$

$$+ \underbrace{\left[F_{\text{тр}} R_{\text{к}} + (m_{\text{к}} + m_{\Gamma}) g R_{\text{к}} \sin \theta + \frac{\left[m_{\text{к}} (R_{\text{к}}^2 + r_{\text{к}}^2) + m_{\Gamma} R_{\text{к}}^2 \right] M_{\text{вн}}}{m_{\Gamma} R_{\text{к}} l_{\Gamma} \cos(\theta + \varphi_{\Gamma})} \right]}_{\triangleq \bar{a}_4}.$$

Предполагаем, что $|\theta| \leq 15^\circ$, поэтому

$$\begin{aligned} \sin(\theta + \varphi_{\Gamma}) &= \sin \theta \cos \varphi_{\Gamma} + \cos \theta \sin \varphi_{\Gamma} \approx \sin \varphi_{\Gamma}; \\ \cos(\theta + \varphi_{\Gamma}) &= \cos \theta \cos \varphi_{\Gamma} - \sin \theta \sin \varphi_{\Gamma} \approx \cos \varphi_{\Gamma}. \end{aligned}$$

Отсюда обращённую модель объекта по угловому движению, учитывая $\ddot{\varphi}_{\Gamma} \equiv \ddot{\varphi}$, $\dot{\varphi}_{\Gamma} \equiv \dot{\varphi}$, можно описать через измеряемые переменные как:

$$M_{\text{дв}} \approx a_1 \ddot{\varphi} + a_2 \sin \varphi \dot{\varphi}^2 + a_3 \text{tg} \varphi + a_4, \quad (2)$$

где параметр a_4 удовлетворяет равенству: $a_2 \sin \varphi_{\Gamma} \dot{\varphi}^2 + a_3 \text{tg} \varphi_{\Gamma} + \bar{a}_4 \equiv a_2 \sin \varphi \dot{\varphi}^2 + a_3 \text{tg} \varphi + a_4$.

В соответствии с методикой построения адаптивного управления на основе идентификационного алгоритма [Круглов, 2012], уравнение (2) дальше будем использовать для оценивания неизвестных параметров a_1, a_2, a_3, a_4 с использованием алгоритма текущей идентификации, в котором: $M_{\text{дв}}$ – отклик; $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{a}_4$ – оценки искомым параметров; $\ddot{\varphi}, (\sin \varphi \dot{\varphi}^2), \text{tg} \varphi, 1$ – регрессоры.

Неявную эталонную модель, описывающую желаемое угловое движение тележки по φ_r , задаем в виде колебательного звена (рисунок2).

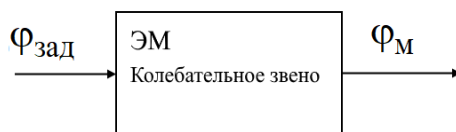


Рисунок 2 – Эталонная модель

$$\ddot{\varphi}_M = a_{M1}\dot{\varphi}_M + a_{M0}\varphi_M - a_{M0}\varphi_{зад}, \quad (3)$$

где $a_{M1} = -2\xi_M\omega_M$; $a_{M0} = -\omega_M^2$; ω_M – задаваемая собственная частота; ξ_M – относительный коэффициент затухания.

В соответствии с назначенной эталонной моделью (3) желаемая динамика объекта будет описываться как:

$$\ddot{\varphi}_{жел} = a_{M1}\dot{\varphi} + a_{M0}(\varphi - \varphi_{зад}). \quad (4)$$

Подставляя (4) в (2) вместо $\ddot{\varphi}$, найдем точный закон управления (основан на точных значениях параметров):

$$M_{дв} = a_1 [a_{M1}\dot{\varphi} + a_{M0}(\varphi - \varphi_{зад})] + a_2 \sin\varphi \dot{\varphi}^2 + a_3 \operatorname{tg}\varphi + a_4.$$

А поскольку у нас в распоряжении будут находиться только текущие оценки параметров, то реальный закон управления, построенный на последних, будет в виде:

$$M_{дв} = \hat{a}_1 [a_{M1}\dot{\varphi} + a_{M0}(\varphi - \varphi_{зад})] + \hat{a}_2 \sin\varphi \dot{\varphi} + \hat{a}_3 \operatorname{tg}\varphi + \hat{a}_4. \quad (5)$$

В соответствии с «упрощенными» условиями адаптируемости [Круглов, 2012], основным требованием к алгоритму идентификации является то, чтобы в замкнутой системе управления выполнялось:

$$\operatorname{sign}\left(\hat{a}_1\right) = a_1; \quad 0.5|a_1| \leq \left|\hat{a}_1\right| \leq 2|a_1|; \quad \frac{d\hat{a}_1}{dt} \rightarrow 0. \quad (6)$$

Это является достаточно простым требованием.

В программной среде MatLab/Simulink была составлена имитационная модель балансирующей тележки (рисунок 3), соответствующая (1); построен алгоритм текущей идентификации уравнения (2) – рекуррентный метод

наименьших квадратов с фактором забывания [Льюнг, 1991]; а также закон управления (5).

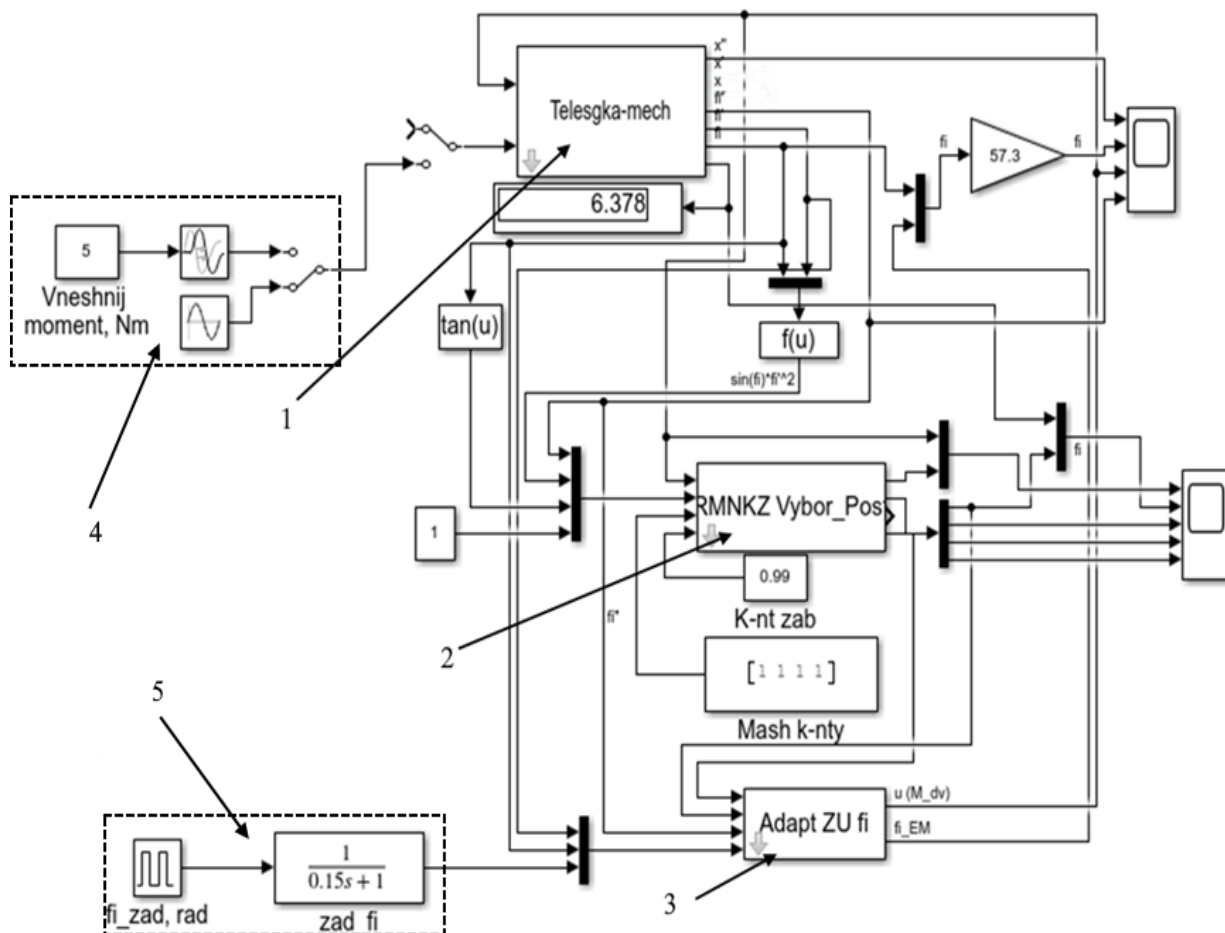


Рисунок 3 – Модель управления с адаптивной системой: 1 – подсьема, моделирующая динамику двухколесной балансирующей тележки; 2 – блок идентификации параметров объекта управления; 3 – блок расчета управляющего сигнала; 4 – блок внешних возмущений; 5 – задаваемый угол наклона тележки с фильтром низких частот для сглаживания сигнала

Параметры объекта управления принимаем следующие: $m_k = 10$ кг; $R_k = 0.1$ м; $r_k = 0.07$ м; параметры эталона: $\xi_m = 0.9$; $\omega_m = 1$ ГГ; коэффициент забывания алгоритма идентификации 0.99. Шаг просчета составляет 0.01с.

Исследования проводились для различных типовых вариантов груза, представленных в таблице 1, а также при различных наклонах поверхности.

Результат моделирования для первого варианта представлен на рисунке 4.

На рисунке 5 приведено текущее значение оценки \hat{a}_1 . Из него следует, что эта оценка соответствует требованиям (6). Качество поведения системы управления при других вариантах груза существенно не отличается от этого.

Таблица 1 – Варианты перевозимого груза

№	Наименование	Масса груза (m_r), кг	Высота центра масс груза ($R_k + l_r$), м	Центральный момент инерции груза, J , кг м ²
1	Человек (1.8м, 80 кг)	80	1	23
2	Легкий габаритный груз (1x1x1 м)	10	0.6	1.7
3	Тяжелый габаритный груз (1x1x1 м)	50	0.6	8.3
4	Ручная кладь (0.5x0.4x0.25)	12	0.225	0.31
5	Багаж (0.8x0.5x0.3)	25	0.25	1.5
6	Вода в канистре (0.4x0.4x0.4м)	10	0.3	0.21
7	3 чемодана (0.6x0.4x0.75м)	36	0.475	2.8

На рисунке 6 представлены сравнительные данные по вариантам груза и при различном угле наклона опорной поверхности θ от 0 до 30 град (разными оттенками обозначены различные углы наклона поверхности). В качестве сравниваемой характеристики использовалось время регулирования при реакции на ступенчатый входной сигнал.

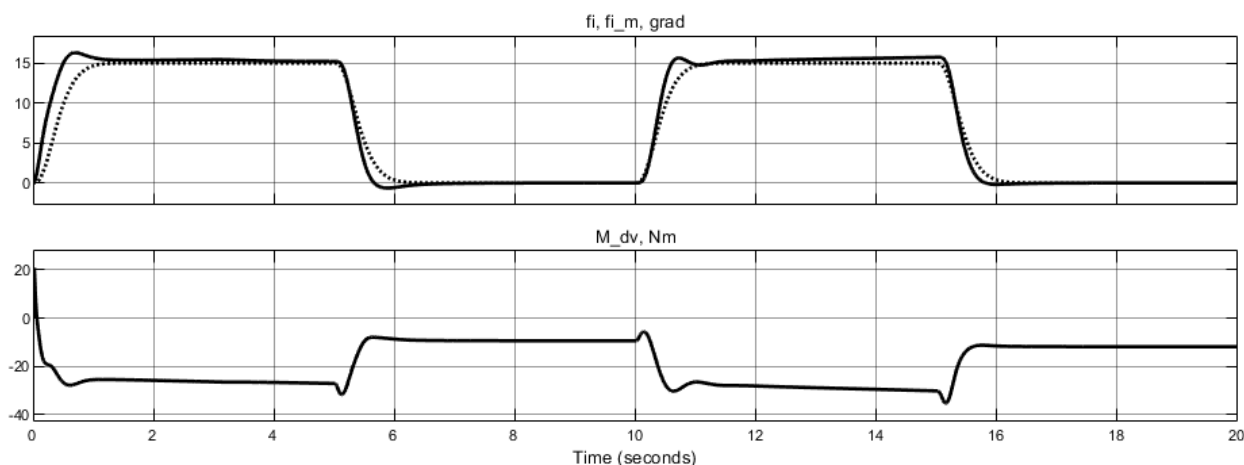


Рисунок 4 – Графики переходных процессов адаптивной системы управления. f_i – реальный угол наклона тележки в градусах (сплошная линия); f_i_m – эталонный угол наклона тележки в градусах (пунктирная линия); M_{dv} – момент двигателя в Н

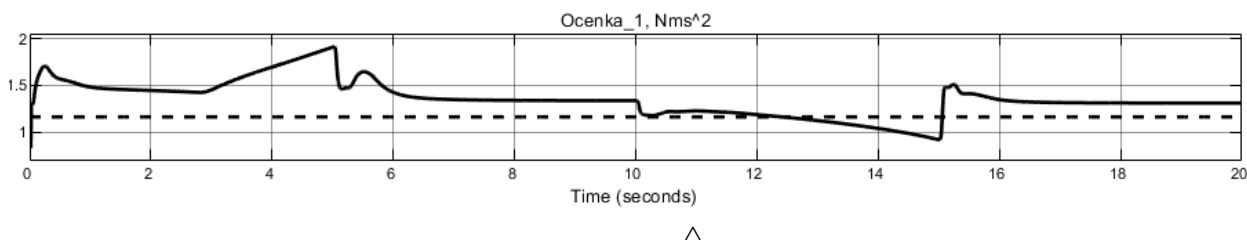


Рисунок 5 – График оценки параметра a_1 . Сплошной линией обозначена текущая оценка; пунктирной линией обозначено точное значение.

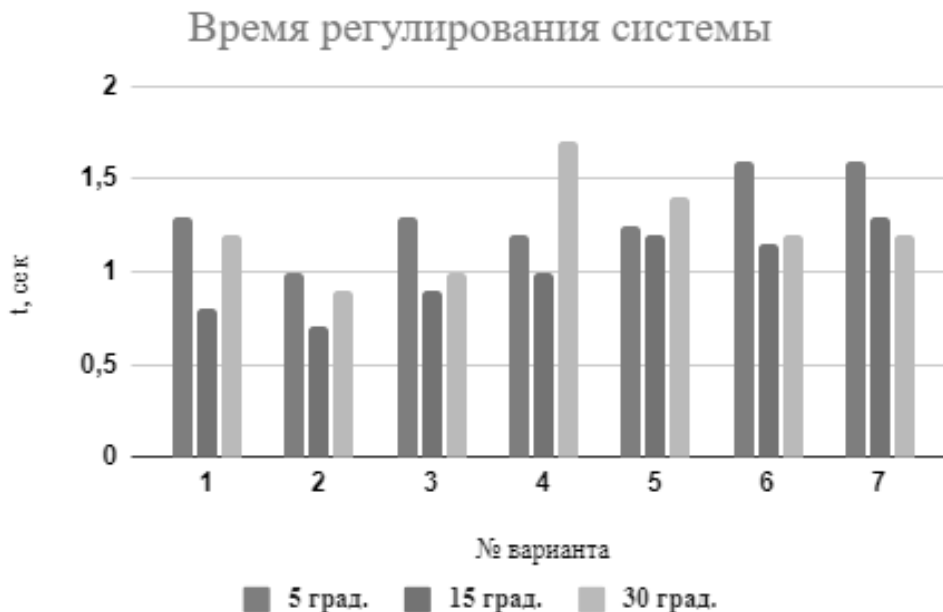


Рисунок 6 – Характеристики системы управления в зависимости от изменений параметров груза

Из представленных данных следует, что максимальное время регулирования составляет 1.7 секунды. Но в любых вариантах загрузки и указанном внешнем воздействии система управления обеспечивает устойчивое движение тележки. Это нельзя сказать для варианта с ПИД-регулированием [Круглов, 2020].

Дополнительные исследования с воздействием на тележку умеренных значений внешних возмущений: $\Delta\varphi$, $M_{вн}$, $F_{тр}$, – система также обеспечивала устойчивое движение тележки.

Заключение. Результаты моделирования указывают на высокую эффективность адаптивной системы управления с предложенным алгоритмом адаптивного управления по сравнению с ПИД-регулированием. Система в априорно неопределённых условиях очень быстро подстраивается к неизвестным и изменяющимся параметрам объекта управления и внешним возмущениям. Адаптивное управление обеспечивает устойчивое поведение двухколесной балансирующей тележки в широком диапазоне ее загрузки в частности для использования данного алгоритма для решения задачи балансировки предлагаемой тележки для перевозки грузов и багажа внутри аэропортов.

Литература

1. *Иловайский Н. Д.* Сервис на транспорте / Н. Д. Иловайский, А. Н. Киселёв. – М.: Транспорт, 2003. – 584 с.
2. *Круглов С. П.* Адаптивная автоматизация пилотирования самолетом на больших углах атаки на основе упрощенных условий адаптируемости. Монография / С. П. Круглов. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2012. – 248 с.
3. *Круглов С. П.* Анализ использования ПИД-управления универсальной грузовой двухколесной балансирующей тележкой / С. П. Круглов, С. А. Романьков // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. –2020. –№1(6). –С. 28-36. DOI: 10.26731/2658-3704.2020.1(6).28-36 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/16-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 10.09.2020).
4. *Круглов С. П.* Идентификационное адаптивное управление с инверсной моделью динамики объекта / С. П. Круглов // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. –2019. – №3. – С. 1–10 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/34-2019>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 16.05.2020).
5. *Льюнг Л.* Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. / Под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
6. Программа повышения качества транспортного обслуживания пассажиров в 2017-2019 годах. Распоряжение от 24 марта 2017 года N 543р. ОАО "Российские железные дороги".
7. *Astrom K. J, Hagglund T.* Advaced PID Control. ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society. 2006. 460 p.
8. Developing autonomous baggage handling tech [Электронный ресурс] – URL: <https://www.airport-technology.com/features/autonomous-baggage-handling-vehicles/>(дата обращения: 10.09.2020)
9. Leo, SITA's baggage robot [Электронный ресурс] – URL: <https://www.sita.aero/innovation/sita-lab/intelligent-machines/leo-sitas-baggage-robot> (дата обращения: 10.09.2020)

СЕКЦИЯ
«СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ,
РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»
«СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ»

Председатель – Лежанкин Б. В., заведующий кафедрой АРЭО, канд. техн. наук, доцент

УДК 621.396

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ

Бехлер А. Е., Фыркова Т. А.

Бодикова Т. Н.
(научный руководитель)

*Красноярский филиал СПбГУ ГА
(г. Красноярск)*

Рассматриваются вопросы анализа характеристик отраженных сигналов с целью их классификации и на этой основе исключение из обработки помех. В качестве помех рассмотрены дискретные пассивные помехи. Предложен алгоритм классификации по ряду признаков. Рассмотрены устройства классификации по спектру амплитудных флюктуаций, корреляционным характеристикам отраженных сигналов с оценкой эффективности их работы. Оценена эффективность работы предложенных устройств.

Ключевые слова: классификация сигналов, принципы построения и эффективность устройств классификации.

В радиолокации, наряду с решением задач обнаружения, разрешения, измерения координат воздушных объектов (ВО) целесообразно реализовать алгоритмы их классификации [Ширман, 2007]. Классификация ВО – это выработка решения о принадлежности объектов к различным классам путем анализа полученных характеристик отраженных сигналов. Для того чтобы классифицировать ВО, необходимо измерить различные характеристики отраженных сигналов (сигнальные и траекторные признаки) и сравнить их с известными для конкретных ВО априорными сведениями.

Процесс разделения двух классов достигается путем измерения параметров сигналов и сравнения полученного результата с порогом. Такой алгоритм целесообразно использовать для разделения сигналов от помех и от реальных целей. В частности, его можно применить для исключения из обработки помеховых сигналов, представляющих собой отражения от оптически ненаблюдаемых воздушных объектов (дискретных пассивных помех), появляющихся в первичных средствах радиолокации [Ахияров, 2016, с.

238-239]. Их число может быть значительным, и существующие системы их режекции малоэффективны для их подавления.

Объекты типа дискретных пассивных помех (ДПП) относятся к категории малоразмерных, малоскоростных ВО природного происхождения. Они имеют определенные особенности, отличающие их от реальных целей. Сигналы имеют узкий спектр флюктуаций амплитуды импульсов пачки отраженных сигналов. Ширина спектра составляет 20–30 Гц. Спектры сигналов в большинстве случаев одномодовые. Сигналы ДПП обладают высокой когерентностью. Одним из вариантов исключения из обработки сигналов ДПП является реализация алгоритмов классификации сигналов воздушных объектов.

При этом целесообразно использовать алгоритм, обеспечивающий оценку следующих признаков классификации: спектр амплитудных флюктуаций импульсов пачки отраженных сигналов, корреляцию сигналов различных каналов обработки в двухканальных радиолокационных станциях. На рис. 1 представлен подобный алгоритм.

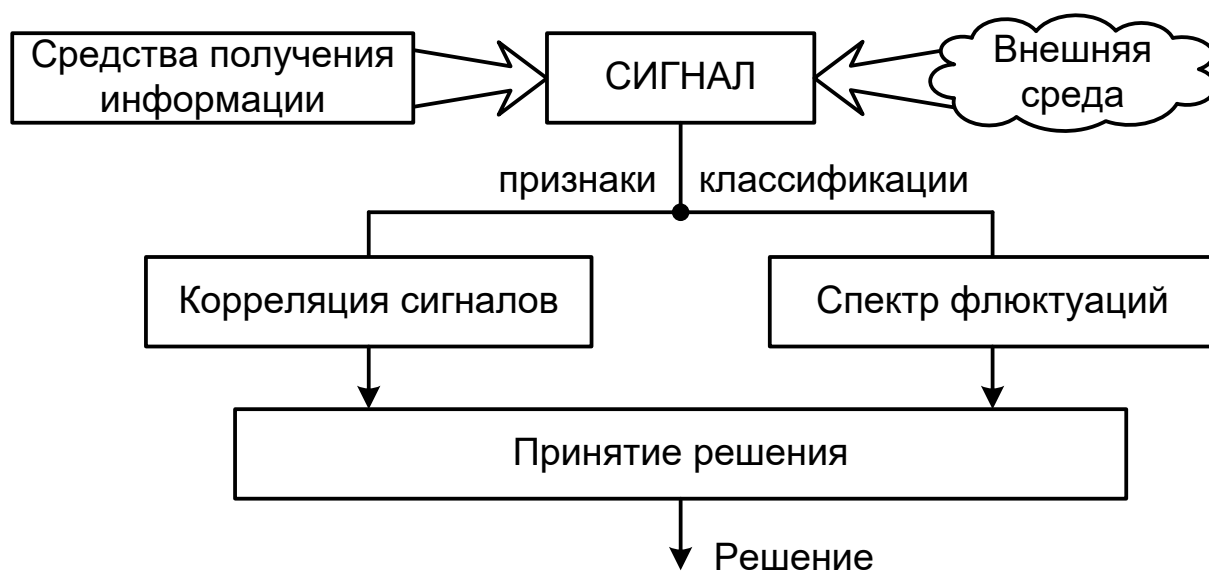


Рисунок 1 – Алгоритм селекции сигналов дискретных пассивных помех

Для анализа спектра амплитудных флюктуаций импульсов пачки отраженного сигнала применим схему череспериодного вычитания (ЧПВ), являющуюся одним из элементов системы селекции движущихся целей [Сколник, 2014, с. 41]. Схема ЧПВ является режекторным фильтром, позволяющим выделить составляющие спектра флюктуаций амплитуды импульсов пачки отраженных сигналов с последующим использованием их в качестве признаков классификации. На рис. 2 изображены характеристики, поясняющие принцип спектрального анализа ($n=1$ – однократная схема ЧПВ, $n=2$ – двукратная схема ЧПВ).

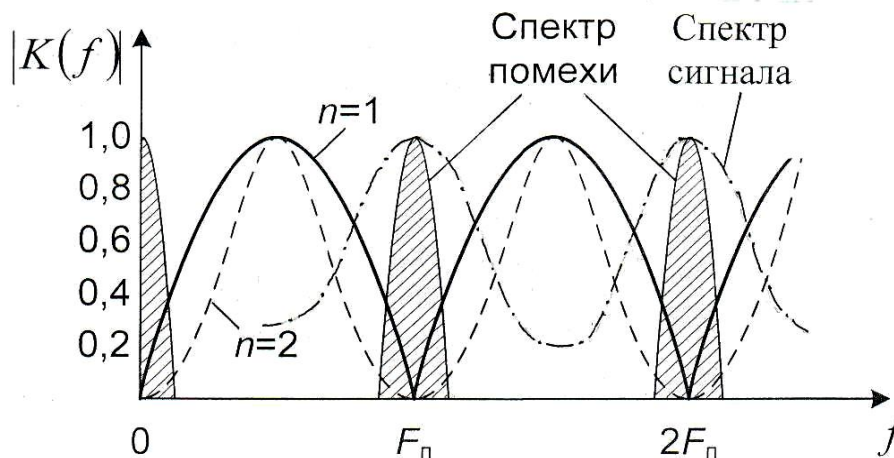


Рисунок 2 – Характеристики, поясняющие анализ спектров различных сигналов

На рисунке изображены АЧХ схем однократного ЧПВ (сплошная линия) и двукратной схемы ЧПВ (штриховая линия). Если пачка отраженного сигнала от ДПП (узкий спектр флюктуаций амплитуды импульсов), уровень остатков после вычитания незначителен. Если пачка флюктуирует по амплитуде, уровень остатков значительно возрастает. Подобный результат позволяет при соответствующей пороговой обработке исключить помеховые сигналы.

Структурная схема устройства классификации сигналов изображена на рис. 3.

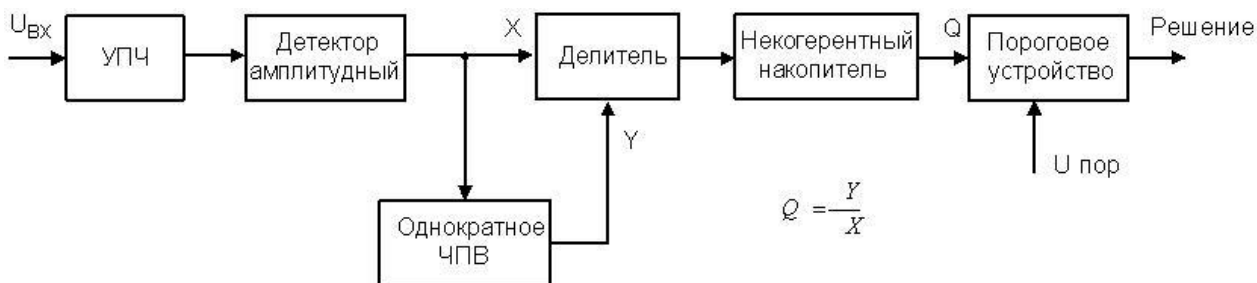


Рисунок 3 – Устройство классификации по спектру амплитудных флюктуаций сигналов

Алгоритм работы устройства классификации заключается в следующем. Обработка сигналов осуществляется на видеочастоте, для чего они после усилителя промежуточной частоты детектируются. Если объект простой (ДПП), то импульсы в пачке отраженного сигнала изменяются только в соответствии с диаграммой направленности антенны. В этом случае остатки на выходе схемы однократного ЧПВ незначительны. Отношение сигналов на выходе делителя будет низким (стремится к 0 в случае полной корреляции сигналов). Далее сигналы накапливаются некогерентным накопителем и сравниваются с порогом, что позволит выделить сигналы с различными флюктуациями амплитуды импульсов пачки отраженных сигналов.

Таким образом, отношение сигналов на выходе некогерентного накопителя убывает с ростом коэффициента корреляции анализируемых сигналов. Дальнейшая пороговая обработка позволяет реализовать классификацию сигналов.

Применение схем череспериодного вычитания является довольно простым способом оценки спектра амплитудных флюктуаций импульсов пачки отраженных радиолокационных сигналов.

Лучшие характеристики классификации радиолокационных сигналов по флюктуациям амплитуд импульсов пачки отраженных сигналов могут быть получены, если реализовать спектральный анализ путем применения схем двукратного ЧПВ. В этом случае устройство классификации приобретает вид, изображенный на рис. 4.

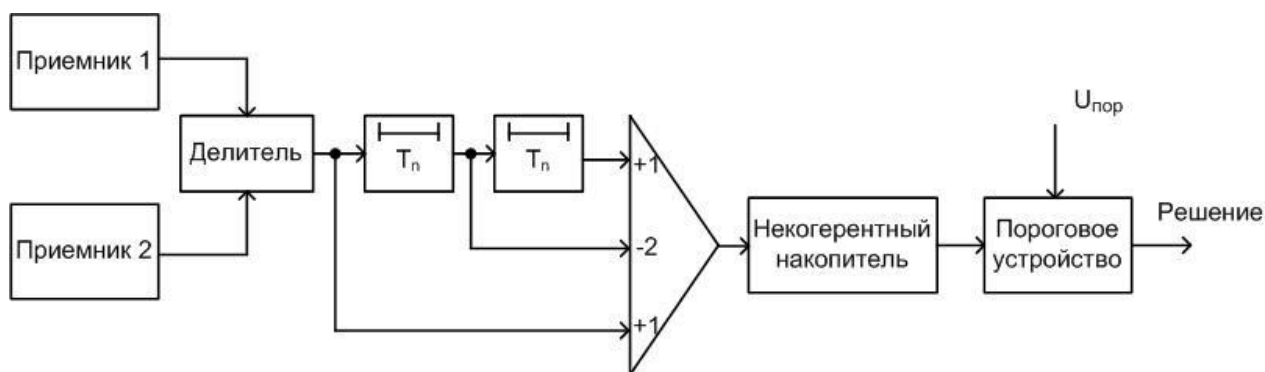


Рисунок 4 – Структурная схема устройства классификации сигналов

Одним из признаков классификации могут являться характеристики сигналов в двухканальных РЛС (по частоте или поляризации), отражающие корреляционную связь классифицируемых сигналов. Для решения подобной задачи целесообразно использовать возможности корреляционного автокомпенсатора.

Известно [Тяпкин, 2011, с. 313], что комплексный коэффициент передачи управляющего напряжения $\underline{U}_\Sigma(t)$ в цепи, обеспечивающей вычисление оценки корреляционного момента $\overline{\dot{U}_\Sigma(t)\dot{U}_1^*(t)}$, который с точностью до постоянной величины поступает на управляемый элемент автокомпенсатора и обеспечивает компенсацию обрабатываемых сигналов на его выходе. Тем самым реализуется вычисление текущего значения межканального коэффициента корреляции импульсов пачек отраженных сигналов. В результате происходит подстройка сигнала на входе сумматора во втором канале таким образом, что выходной эффект стремится к нулю.

Установлено, что при достаточно сильной связи, величина комплексного коэффициента передачи принимает следующий вид:

$$\dot{K} = \dot{r} \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right),$$

где \dot{r} – коэффициент корреляции комплексных амплитуд сигналов с выхода приемников; σ_1, σ_2 – дисперсии сигналов.

Таким образом, устройством для получения информации, позволяющей классифицировать радиолокационные сигналы по корреляционному признаку, является корреляционный АК. В связи с изложенным предлагается выполнить устройство классификации согласно схеме, изображенной на рис. 5.

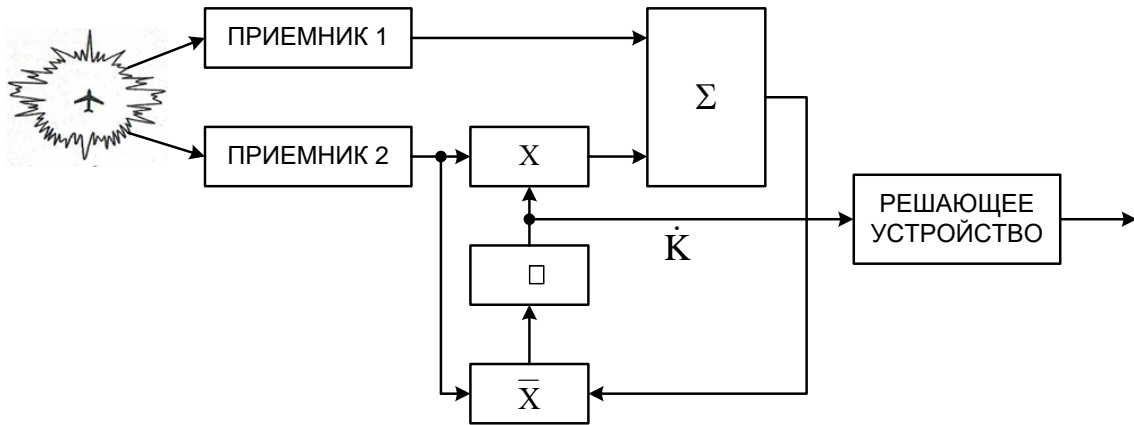


Рисунок 5 – Структурная схема устройства классификации сигналов

В качестве входных сигналов устройства классификации могут использоваться сигналы двухканальных по частоте РЛС или сигналы различных поляризационных каналов. Подобная схема может быть использована для оценки и межпериодного коэффициента корреляции.

Моделирование на ПЭВМ подтвердило тезис о том, что комплексный коэффициент передачи \dot{K} содержит информацию о степени корреляции анализируемых сигналов. На рис. 6 изображена зависимость коэффициента корреляции анализируемых сигналов от их флюктуаций (дисперсий).

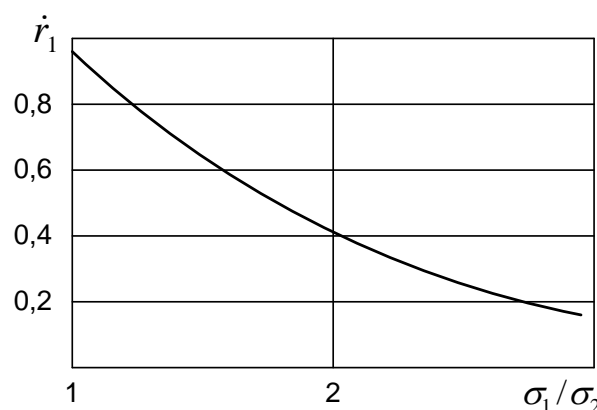


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента корреляции сигналов от степени их флюктуации

В качестве устройства принятия решения может быть использовано пороговое устройство или нейронная сеть.

Была проведена оценка вероятности правильной классификации сигналов в зависимости от степени флюктуаций амплитуды импульсов пачки отраженных сигналов. Соответствующая зависимость изображена на рис. 7.

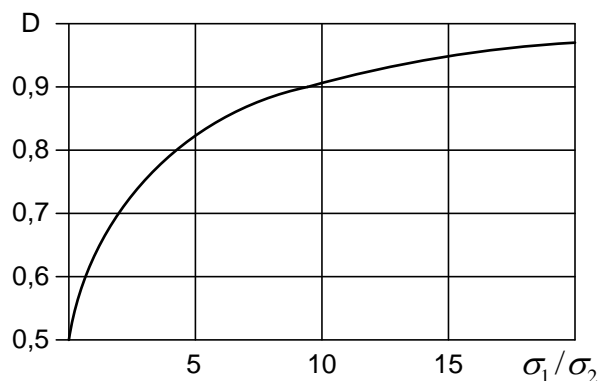


Рисунок 7 – Зависимость вероятности правильной классификации сигналов от степени их флюктуаций

Заключение

1. В первичных РЛС одним из видов пассивных помех являются дискретные пассивные помехи, борьба с которыми существующими системами селекции движущихся целей проблематична.

2. Для повышения эффективности работы РЛС в условиях воздействия помех целесообразно использовать алгоритмы классификации сигналов.

3. Разработаны устройства классификации по следующим признакам: спектр флюктуаций амплитуды импульсов пачки отраженных сигналов; корреляционные характеристики сигналов.

4. Эффективность функционирования разработанных устройств оценена путем моделирования на ПЭВМ.

Литература

1. Радиолокационные системы: учеб. пособие / В. В. Ахияров, С. И. Нефедов, А. И. Николаев и др. / Под ред. А. И. Николаева. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 349 с.
2. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я. Д. Ширмана – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
3. Справочник по радиолокации / Под ред. М. И. Сколника. Пер. с англ. Под общей ред. В. С. Вербы. В 2-х книгах. – М.: Техносфера, 2014. – 672 с.
4. Тяпкин В. Н. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В. Н. Тяпкин, А. Н. Фомин, Е. Н. Гарин [и др.]; под общей ред. В. Н. Тяпкина. – Красноярск: Сиб. федер.ун-т. – 2011. – 536 с.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ С АКТИВНЫМИ ФАЗИРОВАННЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ ПРИ СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Володягин А. В., канд. техн. наук
Поваренкин Н. В., канд. техн. наук
Ермаков А. К.**

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
(г. Санкт-Петербург)*

Статья посвящена проблеме испытаний серийно выпускаемых радиолокационных станций, в составе которых используется активная фазированная антенная решетка. В связи с тем, что часть приемного и передающего устройств вынесена в приемопередающий модуль антенной системы становится невозможно отдельно контролировать параметры приемопередающего тракта и антенной системы. Принимая во внимание требования государственных стандартов, авторами представлен вариант распределения проверок между различными категориями испытаний. Из опыта, полученного при заводских, полигонных и объектовых испытаниях опытных и последующих образцов радиолокационных станций с активным антенным полотном, и с учетом соблюдения баланса стоимости испытательных мероприятий и поставочных рисков предложен основной перечень характеристик, используемых для подтверждения соответствия требованиям, предъявляемым заказчиком при контроле каждого образца. Даны рекомендации, позволяющие производить косвенную оценку основных радиотехнических параметров радиолокаторов с активными фазированными антенными решетками в условиях ближнего поля в безэховой экранированной камере с применением стандартных высокотехнологичных средств измерений. К таким параметрам были отнесены восприимчивость приемных каналов, произведение коэффициента усиления на общую мощность излучения, временные и частотные характеристики сигналов, применяемых в наиболее напряженных режимах работы, и коэффициент сквозной передачи при работе радиолокационной станции в замкнутой петле с использованием тестового генератора. В статье сделан акцент на необходимости формулировки требований и подготовки методик проведения испытаний в виде, возможном для их применения сотрудниками предприятия, выпускающего радиолокационную станцию и согласованном с заказчиком изделия.

Ключевые слова: активные фазированные антенные решетки, испытания радиотехнических систем, восприимчивость, внутриприемный шум, энергетический потенциал.

Развитие радиолокационной техники находится на стадии, когда все чаще применяются активные фазированные антенные решетки (АФАР), как на земле, так и в космосе [Бакулев, 2015, с. 15; Канащенков, 2006; Верба, 2010]. Широко известны преимущества использования АФАР, однако в жизненном цикле изделий с их наличием возникают и дополнительные сложности [Тяпкин, 2011; Федосов, 2005; Гостюхин, 2011]. Одной из таких трудностей является контроль

соответствия параметров радиолокационных станций (РЛС) требованиям, обозначенным в технических условиях или техническом задании.

Соответствие всех параметров требованиям технического задания досконально проверяется на предварительных и государственных или межведомственных испытаниях [ГОСТ РВ 15.210-2001. Система разработки и постановки продукции на производство, 2001]. Это испытания первых – опытных образцов. Их задача – проверка правильности проектирования и качества разработки конструкторской документации для изготовления и эксплуатации. При положительном результате этих испытаний изделие поступает в серийное производство, документация утверждается и считается, что изделия, изготовленные по ней, должны соответствовать всем требованиям. Однако многие производственные операции могут выполняться с разным качеством и давать различный результат, к тому же в сложных системах существует множество регулировок, правильность которых зависит от того, как выполняется процесс. Таким образом, после появления каждого серийного образца РЛС необходимы контрольные процедуры, подтверждающие правильность изготовления – соответствие изделия утвержденной документации. Для этого существует категория приемосдаточных испытаний (ПСИ) [ГОСТ РВ 15.307-2002. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания серийных изделий, 2002]. Объем и методики проверок ПСИ подробно описываются в технических условиях (ТУ) [ГОСТ 2.114-2016. Единая система конструкторской документации. Технические условия, 2016]. Там же приводятся и сведения о периодических испытаниях. Их функция – проверка возможности конкретного предприятия или их кооперации с имеющимися в текущий момент оснащением, технологическими процессами, производственным персоналом и организацией менеджмента качества производить изделия с параметрами, оговоренными в ТУ. Контрольный период оговаривается в ТУ и определяется либо временным интервалом, либо фиксированным количеством выпущенных изделий, либо меньшей из этих величин.

Поскольку тактико-технические характеристики (ТТХ) проверяются тщательно в ходе испытаний опытных образцов, то в объем проверок серийных изделий имеет смысл включать технические параметры, нахождение которых в указанных допусках обеспечивает выполнение ТТХ. Особенно важным является контроль аналоговых устройств локатора и наиболее ответственная зона – проверка свойств радиотехнического тракта. РЛС с АФАР имеет особенность – невозможность отдельной проверки приемопередающих каналов и антенны. Если в радарх с пассивными антеннами доступны проверки приемников и передатчиков на стенде при подключении контрольно-проверочной аппаратуры, то активные антенные решетки содержат в себе значительную часть приемного и передающего трактов, и измерения можно выполнять только в комплексе, причем полноценно – только в дальней зоне антенны.

Дальняя зона характеризуется сформированной диаграммой направленности антенны и определяется размерами АФАР и ее рабочим

диапазоном. При ее значениях порядка сотен метров контрольные испытания с необходимостью работы в эфире в заводских рамках становятся проблемой, особенно это касается передающей части – когда необходимо включение на полной мощности. Поэтому для работы в дальней зоне, как правило, организуются полигоны с рабочими местами, разнесенными на местности на требуемое удаление. Тем не менее, стоимость работ с привлечением мощностей полигона возрастает за счет транспортировки оборудования, временного выведения из производственного процесса средств измерения и оснастки, дополнительных монтажно-демонтажных работ, задействовании большего количества инженерно-технического персонала, аренды и пр. Поэтому перечень параметров для контроля должен быть компромиссом между достаточностью и стоимостью.

Следует учесть, что приведенные государственные стандарты рекомендуют расширенный контроль выполнять на периодических испытаниях, а более сжатую проверку – на ПСИ. В связи с этим при наличии такой возможности целесообразно проверки в условиях полигона относить в разряд периодических испытаний. Тогда в объеме ПСИ остаются проверки, которые можно выполнить в ближней зоне внутри экранированных камер. Открытым остается вопрос о том, как оценивать состояние радиотехнического тракта вновь изготовленной РЛС в пределах завода.

Исходя из условия оптимизации стоимостных показателей испытательных мероприятий и рисков поставки не полностью кондиционной техники и с учетом некоторого опыта, в качестве критериев для процедуры квалификации изделия в разряд годных могут быть предложены следующие технические параметры [Александровская, 2017]. Это ширина диаграммы направленности в двух перпендикулярных плоскостях, уровень боковых лепестков и величина провала разностной диаграммы направленности в равносигнальном направлении в разных частотных диапазонах, предельные длительность и скважность излучаемых сигналов, ширина спектра зондирующих импульсов, точность установки рабочих частотных литер, собственные шумы приемных каналов, а также чувствительности приемных трактов и энергетический потенциал (произведение полной излучаемой мощности на коэффициент усиления антенны), оцененные по косвенным признакам, и коэффициент передачи сигнала от тестового излучателя до цифровой части приемников [Леонов, 2012].

Параметры направленности антенной решетки можно измерять с помощью инструмента, используемого при настройке (фазировке) антенн, – сканера ближнего поля. Для работы с ним можно устанавливать технологические режимы РЛС с малыми мощностями, короткими импульсами и т. д. Временные параметры излучаемого сигнала можно измерить в эфире, приняв его измерительной антенной, нагруженной детектором с осциллографом. При этом отсутствие сформированной диаграммы не влияет на их величины. То же самое относится к частотным параметрам – точности установки и размеру занимаемой сигналом полосы – они могут быть сняты с помощью анализатора спектра, подключенного к стандартной антенне,

размещенной в ближней зоне. Внутриприемные шумы анализируются путем анализа записанных реализаций цифровой части приемных каналов. Их величина должна находиться между двумя порогами. Максимальное $U_{C \text{ ПРМ } \max}$ определяется наихудшим допустимым коэффициентом шума $K_{\text{Ш доп}}$, а минимальное $U_{C \text{ ПРМ } \min}$ должно быть больше уровня теплового шума приемника с наилучшим возможным коэффициентом шума $K_{\text{Ш } \min}$ (1) [Справочник по радиолокации, 2015]. Приемный канал с уровнем, превысившим верхний предел, бракуется как дающей повышенные вероятности ложной тревоги, а нахождение в зоне меньше нижнего предела свидетельствует об отсутствии физической целостности канала или некорректности монтажа.

$$U_{C \text{ ПРМ } \min} = k T_0 \Delta F K_{\text{Ш } \min}, U_{C \text{ ПРМ } \max} = k T_0 \Delta F K_{\text{Ш доп}}, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана,

T_0 – температура приемного канала,

ΔF – частотная полоса канала.

Во избежание дополнительных погрешностей температура, при которой проводятся испытания, фиксируется, что оговаривается в ТУ. По изменению уровня $U_{C \text{ ПРМ}}$ можно судить о неисправности того или иного участка тракта. Например, минимальное значение дают шумы аналого-цифрового преобразователя, в этом случае нарушена связь или неисправен аналоговый приемный блок, осуществляющий преобразование и обработку на промежуточной частоте. Приемный блок промежуточной частоты дает прирост уровня шума, однако если нарушена связь или не функционируют приемные модули или их часть в антенном полотне – уровень не достигает штатной величины. Поэтому в минимальном пороге должен быть учтен сквозной коэффициент шума системы.

Абсолютные чувствительности приемных каналов можно измерить только в дальней зоне. Однако следует производить хотя бы грубую оценку восприимчивости приемников в ближнем поле. Оценка целостности внутреннего тракта анализируется при наблюдении собственных шумов. Записи откликов приемных каналов при тарированном излучении в безэховой камере измерительного генератора также должны укладываться в определенные допуски. Эта проверка характеризует качественно совместную работу внутреннего тракта и излучающих элементов. Допуска должны быть внесены в ТУ на основе экспериментальных замеров на опытных образцах при фиксированном расположении измерительной антенны.

Для измерения энергетического потенциала в ближней зоне иногда применяется режим фокусировки – создание фазового распределения, отличного от плоского, позволяющего сконцентрировать энергию в точке измерения. Это не позволяет получить необходимую точность измерения в силу изменения штатного режима работы АФАР, а также по причине снижения мощности до технологического уровня, допустимого для измерений и безопасного для оборудования и оснастки с точки зрения тепловыделения. Достаточно достоверная косвенная оценка суммарной мощности передающего

канала может быть получена путем анализа потребляемой мощности при разных скважностях сигнала. Если учитывать общий коэффициент полезного действия источников питания на всех ступенях, то мощность потребления при фиксированной скважности будет пропорциональна количеству исправных приемопередающих модулей АФАР. Аналогичная проверка в части приемного тракта может быть проведена при отсутствии зондирующих сигналов («работа на прием»). Более грубым, но все же расширяющим возможности контроля дополнительным косвенным признаком исправности при «работе на передачу» служит температура охлаждающего агента на выходе из антенны.

Заключительной комплексной по характеру проверкой является наблюдение сигнала, излученного тестовым генератором штатной аппаратуры РЛС, прошедшего весь приемный тракт и обработанного сигнальным процессором. Здесь также можно оговаривать уровень обработанного сигнала на основе экспериментальных данных, а также следить за правильностью совместной работы приемного и передающего тракта (часть штатного передающего тракта используется при формировании тестового сигнала) в части временных и частотных характеристик, контролируя в процессоре обработки данных дальность и скорость фиктивной цели, имитированной тестовым генератором [Меркулов, 2007].

Численные параметры, определенные экспериментально и выраженные в абсолютных значениях с допусками, должны быть приведены в ТУ, проект которых корректируется по результатам испытаний опытных образцов. Ряд параметров (в основном те, которые связаны с косвенной оценкой энергетического потенциала) имеет смысл подвергать контролю в ходе жизненного цикла изделия, оценивая относительные изменения от начальной величины. Для этого начальные зафиксированные значения заносятся в формуляр изделия.

Стоит отметить, что в условиях серийного производства необходимо формулировать требования в таком ключе, чтобы они имели непосредственное отражение в методике. Сами методики проверок должны быть разработаны таким образом, чтобы они могли быть выполнены рабочим персоналом. Алгоритмы выполнения проверок должны быть линейными, операции должны быть простейшими, без двоякого толкования и дополнительных расчетов (все расчеты и коэффициенты должны быть включены в пороговые уровни, которые согласуются при утверждении ТУ).

Литература

1. *Авиация ВВС России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра* / под ред. Федосова Е.А. – М.: Дрофа, 2005. – 734 с.
2. *Александровская Л. Н. Математические методы риск-менеджмента технических систем* / Л. Н. Александровская, И. З. Аронов, П. А. Иосифов, А. В. Кириллин. – М.: АИР, 2017. – 238 с.
3. *Бакулев П. А. Радиолокационные системы* / П. А. Бакулев. – М.: Радиотехника, 2015. – 440 с.
4. *Верба В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования* / В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов, В. Э. Турук. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.

5. ГОСТ 2.114-2016. Единая система конструкторской документации. Технические условия. – М.: Госстандарт России. – 12 с.
6. ГОСТ РВ 15.210-2001. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания опытных образцов изделий и опытных ремонтных образцов изделий. – М.: Госстандарт России. – 41 с.
7. ГОСТ РВ 15.307-2002. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания серийных изделий. – М.: Госстандарт России. – 35 с.
8. *Гостюхин В. Л.* Активные фазированные антенные решетки / В. Л. Гостюхин, В. Н. Трусов, А. В. Гостюхин. – М.: Радиотехника, 2011. – 304 с.
9. *Канащенков А. И.* Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. Т.1 РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов / А. И. Канащенков, В. И. Меркулов. – М.: Радиотехника, 2006. 656 с.
10. *Леонов А. И.* Моноимпульсная радиолокация / А. И. Леонов. – М.: Книга по требованию, 2012. – 184 с.
11. *Меркулов В. И.* Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах. Ч.2 / В. И. Меркулов, А. И. Канащенков, А. И. Перов и др. – М.: Радиотехника, 2007. – 304 с.
12. Справочник по радиолокации / под ред. Сколника М.И. В 2-х книгах. – М.: Техносфера, 2015. – 680 с.
13. *Тяпкин В. Н.* Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В. Н. Тяпкин, А. Н. Фомин, Е. Н. Гарин и др. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2011. – 536 с.

УДК 519.83

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Евдокимов Д. В.

**Емельянов В. Е., д-р техн. наук
(научный руководитель)**

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

В статье обосновывается метод оценки качества системы информационной безопасности. Метод базируется на игровой модели, в качестве которой используется антагонистическая игра. Высказано предположение, что стороны априорно имеют информацию о стратегиях друг друга и выигрывают только за счет противника.

Ключевые слова: антагонистическая игра, модель поведения нарушителя, метод минимакса, качество средств защиты информации.

Проблемы выбора решения, обеспечивающего оптимальное соотношение между затратами на средства защиты информации и снижением риска возможного ущерба при эксплуатации, представляется актуальной задачей. Для решения этой задачи используются различные методы. В данной работе

выбрана антагонистическая игра. Участником этой игры может являться с одной стороны «злоумышленник», в функции которого входит одно из возможных нарушений показателей информационной безопасности, под которыми мы понимаем конфиденциальность, достоверность и доступность. С иной стороны «защитник», основной задачей которого является приведение автоматизированной системы в соответствие с требованиями определенного класса защищенности. Не останавливаясь на конкретизации характеристик нарушений, остановимся на агрегации решения.

Любой класс защиты может быть охарактеризован вероятностным коэффициентом [Савченко, 2017, с. 85], который указывает, как сильно может быть снижена возможность атаки на систему имеющей положительный результат, с одной стороны, а с другой – оценкой стоимости мероприятий по приведению информационной системы в соответствие с требованиями данного класса защиты и технических средств. Предположим, что нарушитель затрачивает x средств на прохождение механизма защиты, на создание которого потребовалось y средств. Предполагаемое количество информации, которую получит нарушитель, есть функция $I(x, y)$.

Функция $f(n)$ позволяет определить ценность для нарушителя n единиц информации, а $g(n)$ – суммарные затраты на сбережение и создание такого же объема информации. Таким образом, чистая прибыль нарушителя равна:

$$V(x, y) = f[I(x, y)] - x. \quad (1)$$

Потери в этом случае определим в виде:

$$u(x, y) = g[I(x, y)] + y. \quad (2)$$

Оптимальные стратегии обеих сторон определяются из следующих условий:

$$\begin{aligned} f'[I(x, y)] \frac{dI(x, y)}{dx} &= 1, \\ g'[I(x, y)] \frac{dI(x, y)}{dy} &= 1. \end{aligned} \quad (3)$$

Недостатком подобной модели является то, что при практическом использовании не представляется возможным построить достоверные функции I , f и g [Скрыль, 2015, с. 27].

Процесс информационной защиты должен учитывать заранее выявленные уязвимости с учетом программного обеспечения.

Пусть существует система информационной безопасности (ИБ). Предположим, что имеются уязвимости $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_i\}$ [Протасов, 2006] и предусматривается реализация определенного комплекса стратегий $T = \{t_1, t_2, \dots, t_j\}$. В этом случае множество планов по защите системы $D = \{d_1, d_2, \dots, d_j\}$ будет направлено на избавление от уязвимостей. Оценим

величину суммарных затрат на осуществление предлагаемых защитных мер и ожидаемых потерь в случае реализации угроз.

Предлагается возможная структура алгоритма, позволяющая оценить действия нарушителя:

Фаза 1. Определим вероятные потери при нарушении одного или нескольких свойств информации – доступности, конфиденциальности или целостности. Для этого можно использовать метод относительных шкал или метод экспертных оценок [Савченко, 2017, с. 88]. Предполагается, что возможная прибыль нарушителя будет пропорциональна потерям. Эти данные возможно представить в формате элементов множества Q .

Фаза 2. Если существует $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_i\}$ – само множество уязвимостей системы информационной безопасности, а элементами этого множества могут являться факторы и события, позволяющие нарушителю успешно реализовать угрозы ИБ (информационной безопасности). Вводим множество $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i\}$, элементами которого является ценность ликвидации какого-либо элемента из Y .

Фаза 3. Обозначим через T множество возможных угроз $T = \{t_1, t_2, \dots, t_i\}$ и произведем его классификацию. В качестве оснований принято использовать причастие нарушителя к организации, его потенциал и цель – меру усилий, которые будут затрачены нарушителем при реализации угроз безопасности информации в системе.

Нарушитель использует при своём воздействии на систему ряд её уязвимостей. Поэтому множество T будет состоять из подмножеств t_i , элементами которых будут угрозы, доступные таким типам.

Фаза 4. Необходимо описание множества $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i\}$, элементами которого будут являться вероятности выполнения со стороны нарушителя соответствующих угроз.

Фаза 5. Добавляется множество $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_i\}$, элементы которого будут соответствовать затратам определенного времени на использование каждой из уязвимостей в системе.

Фаза 6. Так как выполнение защиты может быть представлено в виде антагонистической игры с совершенной информацией, защитник и нарушитель используют одинаковое множество уязвимостей, отличающихся тем, что нарушитель пытается их привести в действие, а защитник – ликвидировать. Исходя из этого, задается множество стратегий защитника $D = \{d_1, d_2, \dots, d_j\}$, элементами которого являются всевозможные сочетания ликвидации уязвимостей. Добавим множество $K = \{k_1, k_2, \dots, k_j\}$, элементы которого отображают стоимость реализации стратегии из множества D :

$$k_i = f(d_i). \quad (4)$$

Фаза 7. Создается платежная матрица (Рис. 1), строки которой отображают стратегии, а столбцы – стратегии нарушителя, где X_{ij} – возможность неправильного функционирования системы при использовании стратегий d_i и T_j .

Нарушитель Защитник	T_1	T_2	...	T_m
d_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1m}
d_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2m}
...
d_n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nm}

Рисунок 1 – Платежная матрица

$$X_{ij} = F(d_i, T_j). \quad (5)$$

Этот параметр можно определить модифицированным алгоритмом Дейкстры [Скрыль, 2015, с. 27]. Данный подход позволит не только найти вероятность вторжения нарушителя, но и наиболее короткий маршрут. Получив этот маршрут нарушителя, можно оценить время, затрачиваемое на реализацию атаки.

Фаза 8. Предположим, что в системе находится n уязвимостей. Число стратегий защитника будет обозначено как N . Тогда вычисление N будет сводиться к вычислению сочетаний из всех уязвимостей:

$$N = \sum_{i=0}^n C_n^i = \sum_{i=0}^n \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad (6)$$

Для аргументации равенства используем разложение бинома Ньютона:

$$\sum_{i=0}^n C_n^i x^i = C_n^0 x^0 + C_n^1 x^1 + C_n^2 x^2 + \dots + C_n^i x^i = (1+x)^n \quad (7)$$

При $x=1$, будем иметь:

$$N = \sum_{i=0}^n C_n^i = 2^n \quad (8)$$

Предположим, что нарушитель обладает m стратегиями, тогда общее количество вероятных сценариев будет равняться $m \cdot N$. Соответственно, с ростом количества уязвимостей возрастает сложность алгоритма.

Для оценивания эффективна ли защита выбранной пары стратегий защитника и нарушителя введем параметр R_{ij} :

$$R_{ij} = (\Psi_{ij} \cdot E_i) + t_i, \quad (9)$$

где Ψ_{ij} – возможность правильного функционирования системы, E_i – потери при изменении свойства информации, t_i – затраты на выполнение стратегии защиты d_i .

Фаза 9. В матрице, представленной на рисунке 1, производится замена X_{ij} на R_{ij} .

Для определения оптимальной стратегии поведения защитника, используем принцип минимакса [Савченко, 2017, с. 86].

$$V = \min_{1 \leq i \leq n} \max_{1 \leq j \leq m} R_{ij} \quad (10)$$

Стратегия нарушителя, в свою очередь, будет «максиминной». Считая, что защитник будет выбирать одну из стратегий, которая приводит к наиболее минимальному выигрышу, необходимо найти максимум из множества таких стратегий. Примем оптимальную стратегию нарушителя как U . Тогда:

$$U = \min_{1 \leq i \leq n} \max_{1 \leq j \leq m} R_{ij} \quad (11)$$

Значения U и V являются нижней и верхней ценой игры соответственно. Исходя из этого, если нарушитель будет следовать максиминной стратегии, ему гарантирован выигрыш, не меньший, чем U . Если же защитник использует минимаксную стратегию, то нарушитель не может выиграть больше, чем V . При

$$V = \min_{1 \leq i \leq n} \max_{1 \leq j \leq m} R_{ij} = \max_{1 \leq j \leq m} \min_{1 \leq i \leq n} R_{ij} = U \quad (12)$$

Изложенный выше алгоритм, будучи реализованным, при численных расчетах позволит решить задачу выбора оптимального состава средств эффективной защиты систем ИБ от различных видов атак. Целесообразно всегда придерживаться принципа минимакса.

Задача будет усложняться, если будут рассмотрены увеличенные ситуационные модели воздействия нарушителя на различные уязвимости конкретных систем. Дальнейшее расширение модели требует конкретизации исследуемой системы с последующей разработкой агрегации оценок рисков и ущерба.

Литература

1. Протасов И. Д. Теория игр и исследование операций / И. Д. Протасов. – М.: Гелиос, 2006. – 368 с.
2. Савченко С. О. Алгоритм построения нарушителя в системах информационной безопасности с применением теории игр / С. О. Савченко, Н. В. Кавчук // Динамика систем, механизмов и машин. – 2017. – №4. – С. 84-89.
3. Скрьль С. В. Формализованное представление информационных процессов в условиях угроз нарушения целостности и доступности информации / С. В. Скрьль, В. В. Корчагин, А. А. Змеев, О. В. Багринцева, А. А. Герасимов // Телекоммуникации. – 2015. – №3. – С. 26-33.

ПРИМЕНИМОСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Крючков Д. К.

Емельянов В. Е., д-р техн. наук
(научный руководитель)

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

Автоматизированные системы организации воздушного движения (далее – АС ОрВД) осуществляют функции управления воздушным движением (УВД), организацию потоков воздушного движения (ОПВД) и организацию воздушного пространства (ОВД). Несмотря на то, что данные системы различаются по масштабу функциональных воздействий, все они являются критическими системами в авиаотрасли и поэтому нуждаются в надежной и всесторонней защите. Для обеспечения достаточного уровня защищенности информации, циркулирующей в таких системах, используются комплексные системы защиты информации (далее – КСЗИ).

Однако наличие современной КСЗИ не дает абсолютных гарантий безопасности, а лишь снижает риски эксплуатации уязвимостей системы. Ввиду того, что кибератаки непрерывно совершенствуются как в технологическом плане, так и в организационно-стратегическом, когда применяются совершенно новые методы, а также, учитывая, что весомая часть реализаций этих атак оказывается успешной, возникает необходимость развивать радикально новые подходы в возможностях противостояния порождаемым этими атаками угрозам.

Одним из наиболее перспективных подходов на данный момент является применение технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ). Под искусственным интеллектом понимается совокупность подходов и методов, базирующихся на алгоритмах классического машинного и глубокого обучения.

В рамках данной статьи будет представлена краткая классификация средств и методов ИИ, дано краткое описание методов глубокого обучения. Описан общий принцип построения ИИ моделей с использованием данных и приведены основные элементы жизненного цикла такого решения. Также будет дан общий обзор возможностей ИИ в решении задач для АС ОрВД, описаны улучшения КСЗИ, которых можно будет достигнуть с внедрением ИИ. В заключительной части статьи будет рассмотрен рабочий пример применения ИИ – технологий в продукте для КСЗИ от Cisco.

Ключевые слова: информационная безопасность, защита информации, машинное обучение, искусственный интеллект, организация воздушного движения.

Введение

К классическому машинному обучению можно отнести модели принятия решений на основе классических статистических алгоритмов. Примерами таких моделей, согласно [Орельен Жерон, 2018], являются:

- Различного рода регрессии (Linear, Lasso, Ridge, Polinomial и т.д.);
- Алгоритмы кластеризации (k-means, PCA, EM, Hierarchical и т.д.);
- Классификаторы (SVM, Decision Trees, Native Bayes и т.д.);
- Алгоритмы поиска ассоциативных правил.

Глубокое обучение, в свою очередь, представлено нейросетевыми алгоритмами, в основе которых лежит математическое представление биологических нейросетей, которое является совокупностью слоев (уровней) сети с определенным функционалом и структурой, где элементарной единицей уровня является математическая модель нейрона живого организма. По общей структуре можно выделить следующие виды нейросетей:

- Нейронные сети общего назначения – используются на тех же задачах, что и алгоритмы классического машинного обучения;
- Сверточные нейронные сети – предназначены в большей степени для решения задач с визуальной информацией за счет навыка выделения шаблонов;
- Рекуррентные нейронные сети – предназначены для работы с текстовой информацией, а также для анализа временных рядов за счет возможности обработки последовательности событий во времени;
- Генеративно-сопоставительные сети – состоят из двух сетей, которые "соперничают друг с другом". Один из вариантов применимости – распознавание ложной информации.

Как работает ИИ в общем плане и какие задачи он способен решать в КСЗИ АС ОрВД?

Для успешного решения задачи с помощью алгоритма ИИ необходимо иметь набор данных, который описывает, что вообще представляет собой решение задачи. В простейшем случае данные могут быть представлены в виде векторов со значениями некоторых характеристик системы/процесса и целевыми значениями искомого параметра. Задача алгоритма заключается в нахождении зависимости между двумя этими составляющими.

Таким образом, жизненный цикл стандартного ИИ – алгоритма строится из трех видов этапов:

- Обучение – процесс подгонки параметров алгоритма для выявления зависимости в переданных данных;
- Предсказание – процесс нахождения целевого значения по переданным данным системы по построенной на предыдущем этапе зависимости;
- Дообучение – донастройка алгоритма в соответствии с новыми переданными данными или изменившимися условиями работы самой системы.

В АС ОрВД ИИ – алгоритмы могут решать следующие задачи:

- Выявление аномалий в трафике и в различных организационных процессах;
- Классификация угроз;
- Выявление узких, с точки зрения безопасности, мест системы;
- Анализ рисков;
- Создание интерпретируемых отчетов о произошедших инцидентах;
- Выявление физических нарушителей посредством видеокамер.

Почему использование ИИ в КСЗИ АС ОрВД необходимо?

Внедрение ИИ в КСЗИ позволит:

- Увеличить показатель адаптируемости системы. Как правило, эксплуатирующиеся интеллектуальные модули в процессе своей работы непрерывно дообучаются (подстраиваются под изменения) в зависимости от инцидентов, управляющих воздействий и нормального состояния системы;
- Сделать КСЗИ более актуальной, как следствие увеличения адаптируемости системы;
- Устранить или свести к минимуму нехватку персонала, отвечающего за информационную безопасность (далее – ИБ), за счет увеличения области покрытия контроля АС ОрВД;
- Уменьшить количество инцидентов ИБ, возникающих из-за человеческого фактора. Как и в других информационных системах, в АС ОрВД большинство успешных атак приходится на человеческий фактор, причем большинство из них происходит неумышленно. Применение технологий ИИ при всестороннем доступе к тем же данным, что и у оператора системы, могло бы поспособствовать составлению портрета действий оператора на рабочем месте и рекомендовать ему при необходимости порядок дальнейших операций. Это позволило бы снизить вероятность отклонения сотрудника от стандартных инструкций, запретить на раннем этапе нанести ущерб системе, своевременно сообщить об инциденте администраторам ИБ.

Рабочая ИИ – система для противодействия угрозам на примере Cisco Secure Network Analytics (Stealthwatch)

Как подтверждение того, что применение ИИ в области ИБ востребовано, начинают появляться продукты для противодействия угрозам с использованием машинного обучения. Рассмотрим продукт Stealthwatch от компании Cisco.

Отличительной особенностью данной системы является комплексный подход к обеспечению безопасности. В основе продукта лежит три метода:

1. Поведенческое моделирование – постоянное отслеживание активности всех составных частей системы. Кроме того, алгоритм учитывает сведения о разных видах аномального поведения, он отслеживает около сотни различных событий безопасности или эвристических правил, которые проверяют различные типы поведения трафика, такие как сканирование,

сигнализирующий хост, вход в систему с помощью полного перебора, подозрительное накопление данных, подозрительная потеря данных и многое другое.

Если событие не проходит проверку – оно регистрируется в качестве инцидента ИБ или выдается предупреждение. Ряд событий при реагировании предусматривает целую цепочку проверок. Большим плюсом является то, что данный алгоритм способен выявить и объединить несколько аномальных инцидентов, связать их, определить место воздействия и передать в отдел ИБ.

2. Многоуровневое машинное обучение опирается также на принцип выявления аномалий, однако, целевая область – это вредоносные подключения, вредоносное ПО и в целом подозрительная активность. В данном подходе применяется каскад уровней обработки данных в симбиозе с алгоритмами ИИ и математической статистики. От предыдущего пункта отличается тем, что есть возможность самостоятельно получить представление, что такое аномальное поведение. В качестве данных для того, чтобы научить алгоритм отличать нормальность от аномалий, используется трафик от всех компонентов составных частей системы (в простейшем случае сети). Так же как и в предыдущем подходе присутствует классификация событий, на которые система среагирует. Применение данного подхода позволяет обрабатывать огромные объемы данных в практически реальном режиме и позволяет обнаруживать инциденты с высокой степенью достоверности, причем реакцией на это обнаружение будет четкая инструкция по устранению проблемы.

3. Глобальная аналитика угроз – злоумышленник может применять одну и ту же атаку для нескольких целей, у которых схожие технические характеристики и принципы организации взаимодействия между подсистемами и модулями. Причем если одна из атак завершилась успехом, нет оснований полагать, что последующая атака на схожую систему не удастся. Поэтому очень важно документировать все атаки и инциденты, а также перенастраивать систему в режиме реального времени. Stealthwatch взаимодействует с аналитической платформой Cisco Talos, которая позволяет обновлять продукт исходя из последней информации в мире ИБ. В качестве такой информации может быть описание уязвимости определенного оборудования, наборы вредоносных IP-адресов и доменов, сигнатуры вредоносного ПО и др.

Использование информационных каналов такого типа обеспечивает дополнительную защиту от ботнетов (сеть с ботами для осуществления DoS-атак) и других сложных атак. Данный подход сопоставляет подозрительную активность в локальной сетевой среде с данными о тысячах известных кампаний и серверов управления и контроля для обеспечения высокой точности обнаружения и ускорения реагирования на угрозы.

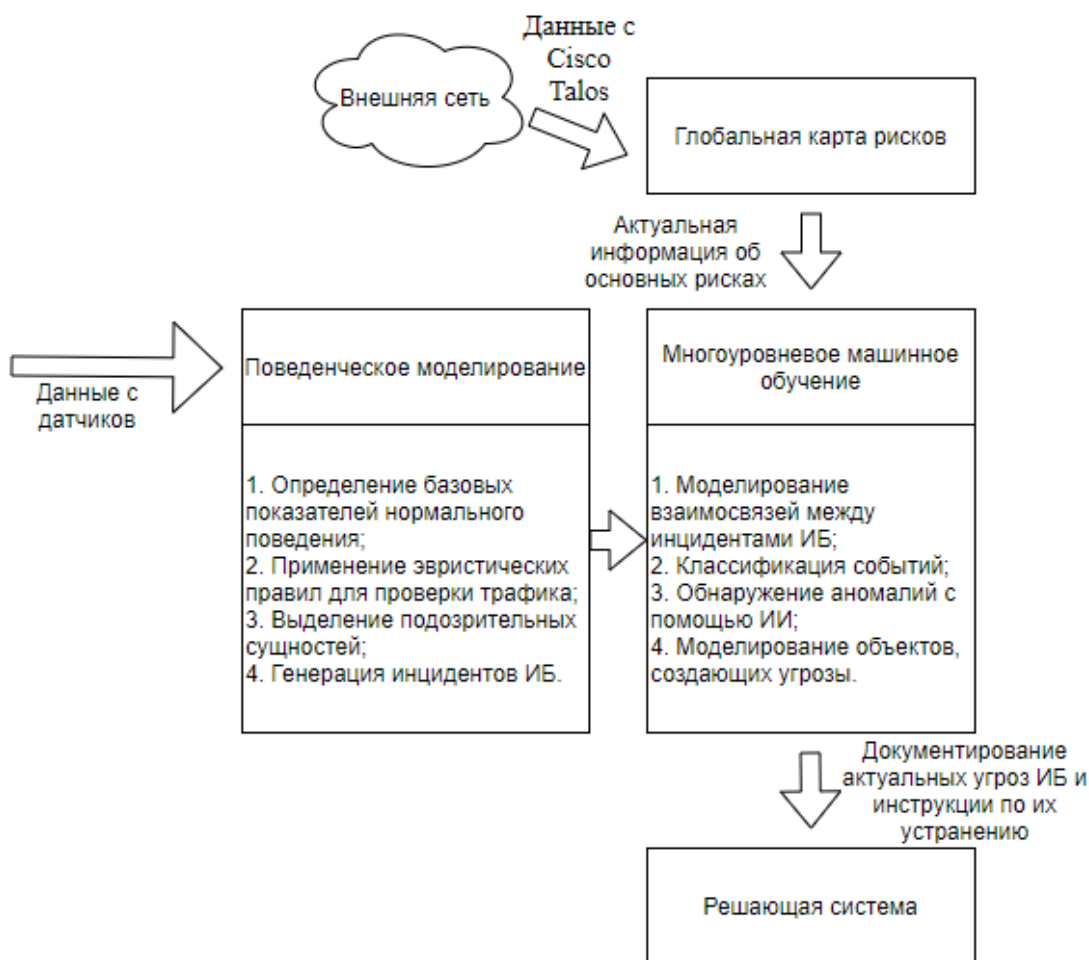


Рисунок 1 – Общая схема объединения подходов в одну систему

Необходимо отметить, что для корректной работы Stealthwatch требуется собирать информацию со всех объектов информационной системы. Для этого используется уже имеющееся оборудование, через которое проходит трафик, различные маршрутизаторы, контроллеры и другие технические средства.

Для создания аналогичной системы в АС ОрВД необходимо в имеющиеся средства защиты: межсетевые экраны, системы защиты от НСД типа КПСрЗИ "Барьер УВД-2" и СЗИ "Сфера", антивирусные средства и пр. интегрировать комплексную систему сбора информации. В остальном при разработке системы выявления и противостояния угрозам, базирующейся на ИИ, предлагается воспользоваться описанными выше подходами.

Заключение

Рассмотренные в рамках данной статьи положения применимости технологий ИИ в рамках решения задач КСЗИ АС ОрВД обосновывают необходимость построения полноценной системы выявления угроз и регистрации инцидентов, а также противодействия атакам и осуществлению анализа рисков в АС ОрВД, используя подходы, примененные в продукте компании Cisco Stealthwatch.

Литература

1. Орельен Жерон. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-learn и TensorFlow. Концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем: издательство Альфа-книга, 2018 – 688 с.
2. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 03.02.2020) "Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации". [Электронный ресурс] – 2020 – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98957/ (дата обращения: 5.11.2020).
3. РШПИ.461214.017 РЭ-ЛУ. Комплекс средств защиты информации. Руководство по эксплуатации РШПИ.461214.017 РЭ, 2017 – 155 с.
4. Cisco. Общедоступная информация Cisco: Решения Cisco для аналитики безопасности. Глубокий анализ с применением уникальных методик поведенческого моделирования и машинного обучения, позволяющий обнаруживать современные типы угроз, компания Cisco, 2018 – 10 с.

УДК 004.056.5

ОСНОВНЫЕ УЯЗВИМОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА АВИАЦИОННОМ ТРАНСПОРТЕ

Обухова В. Е.

Емельянов В. Е., д-р техн. наук
(научный руководитель)

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

В статье рассмотрена проблема обеспечения информационной безопасности типовых систем управления на воздушном транспорте.

Информационная безопасность и АСУ рассматриваются ИКАО как неразделимые и интегрированные во всем транспортном секторе. На примере базовой структуры работы АСУ приводится анализ наиболее серьезных проблем безопасности, присущих авиационным АСУ. Рассмотрены основные тенденции развития АСУ на воздушном транспорте. Представлена статистика типовых уязвимостей АСУ. Получены основные цели кибербезопасности АСУ на воздушном транспорте.

Ключевые слова: информационная безопасность, АСУ, ТКС, кибербезопасность, защита информации.

АСУ – это общий термин, охватывающий несколько типов систем управления, включая системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA), распределенные системы управления (DCS), программируемые логические контроллеры (PLC) и контроллеры общего назначения (GPC). АСУ выполняют различные функции и существуют на разных этапах развития в рамках глобального плана обеспечения авиационной безопасности.



Рисунок 1 – Структурная схема АСУ

Ключевые компоненты АСУ включают в себя:

1. Узел управления. Узел управления состоит из датчиков измерения, контроллера и системы переменных. Контролируемые переменные снимаются с сенсоров. Контроллер обрабатывает сигналы и генерирует соответствующие регулируемые переменные, основанные на заданных значениях, эти сигналы передаются исполнительным механизмам.

2. Человеко-машинный интерфейс (HMI). Операторы и инженеры используют человеко-машинный интерфейс для мониторинга, управления и изменения заданных значений, алгоритмов, регулирования и установки параметров контроллера. На HMI также демонстрируются данные о статусе и история процесса.

3. Утилита удаленной диагностики и поддержки. Программы удаленного диагностирования и поддержки используются для выявления, предотвращения и восстановления после сбоя в работе.

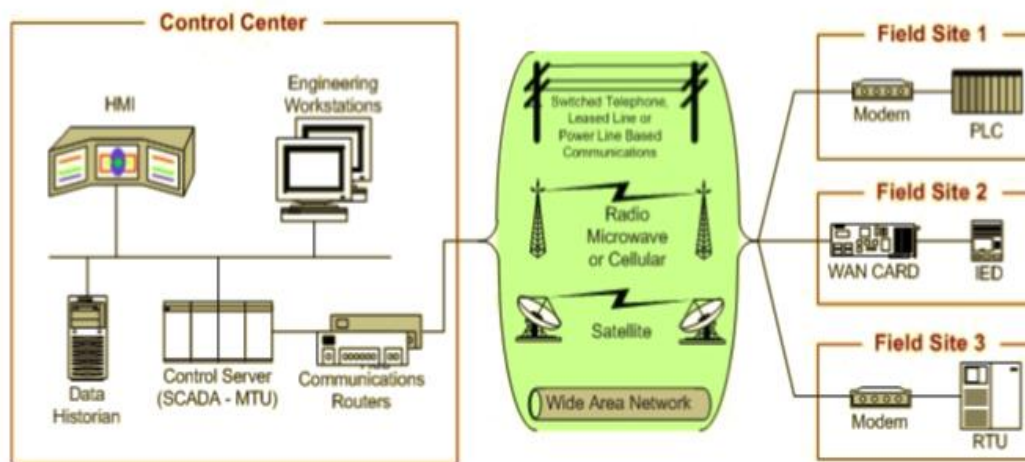


Рисунок 2 – Компоненты и общая конфигурация системы SCADA

Часто используются общие ИТ, такие как Интернет, телефонная связь общего пользования, кабельные и беспроводные сети.

На рисунке 2 показаны компоненты и общая конфигурация системы SCADA. Возможность доступа к системе, возникающая в результате такой совместимости, делает сетевые активы уязвимыми для атак и последующего манипулирования конфиденциальными операциями. Все более сложные сценарии информационных угроз могут использовать уязвимости в компонентах системы, методах связи и общих операционных системах. Способность обнаруживать и понимать такие возникающие угрозы и уязвимости системы является предпосылкой для разработки эффективных политик безопасности и контрмер.

Внедрение ИТ-компонентов в АСУ делает их уязвимыми для вирусов и методов атак, традиционно связанных с ИТ-системами. Современные информационные системы часто придают более высокий приоритет информационной безопасности конфиденциальности и целостности данных, чем доступности данных, в то время как большинство приоритетов информационной безопасности авиационных АСУ противоположны.

Ниже описаны наиболее серьезные проблемы безопасности, присущие авиационным АСУ:

1. Повышенная доступность. Сегодня АСУ все чаще подключаются к корпоративным системам авиапредприятий, которые используют общие операционные системы и доступны через Интернет. Несмотря на то, что эти изменения улучшают работоспособность, они также создают серьезные уязвимости.

2. Взаимозависимости. Из-за высокой степени взаимозависимости между секторами инфраструктуры и видами транспорта сбои в одном секторе могут распространяться на другие. Успешная кибератака могла бы использовать преимущества этих взаимозависимостей для создания каскадных взаимодействий и увеличения общего экономического ущерба.

3. Сложность. Спрос на обмен информацией и контроль в реальном времени увеличил сложность системы по нескольким причинам: доступ к АСУ предоставляется большому количеству пользователей. Уровень подготовки специалистов, отвечающих за ИТ-системы и за АСУ, привел к проблемам координации сетевой безопасности между этими двумя ключевыми группами.

4. Устаревшие системы. Хотя устаревшие АСУ могут работать в более независимых режимах, они, как правило, имеют некорректные политики паролей и администрирования безопасности, отсутствуют механизмы защиты данных и протоколы, которые подвержены отслеживанию, прерыванию и перехвату. Эти небезопасные системы имеют длительный срок службы и будут оставаться уязвимыми в течение многих лет.

5. Системный доступ. Даже ограниченное подключение к Интернету подвергает системы контроля всем внутренним уязвимостям взаимосвязанных компьютерных сетей, включая вирусы, хакеров и террористов. Каналы управления, использующие беспроводные технологии, обеспечивают минимальную защиту от компрометации данных или управляющих сообщений.

6. Зарубежные производители. Многие производители программного обеспечения, оборудования и систем управления находятся в иностранной собственности и разрабатываются в странах, чьи интересы не всегда совпадают с интересами РФ.

7. Доступность информации. Руководства по АСУ общедоступны, и многие инструменты теперь можно загрузить из Интернета. Чтобы получить доступ к АСУ злоумышленникам, не обязательно быть экспертами в области, связанной с авиаоборудованием.

8. К некоторым транспортным системам могут получить доступ внешние пользователи через сети, устройства и программные компоненты прямо или удаленно. Примеры таких систем включают авиационное радиоэлектронное оборудование или системы управления воздушным движением. Потенциальные уязвимости системы безопасности возникают в результате доступа неавторизованных пользователей и повреждения информации (приложений, баз данных, файлов конфигурации и т.д.) намеренно или случайно.

Современные самолеты (например: Airbus A320, Boeing 787 и МС-21) оборудованы новейшей архитектурой построения комплекса бортового оборудования, именуемой Интегрированной модульной авионикой. ИМА включает в себя совокупность приборов и бортовых вычислителей, объединенных в единую сеть реального времени. Это значительно снижает количество кабелей на борту и, соответственно, уменьшает взлётный вес авиалайнера. Снижение веса помогает самолету снизить расход топлива, а также может снизить расходы на поддержку за счет упрощения конфигурации самолета. В ИМА разделяются функции сбора информации (датчики), воздействия (актуаторы) и логики оказания управляющих воздействий, которые реализуются специализированным прикладным ПО в бортовых вычислительных модулях. Международный стандарт ARINC 653 описывает требования к операционной системе реального времени, устанавливаемой на таких модулях, и программный интерфейс между прикладным авиационным ПО и операционной системой. Данный стандарт регламентирует временное и пространственное разделение прикладного ПО в соответствии с принципами ИМА. Большинство ОСРВ, соответствующих стандарту ARINC 653, являются коммерческим ПО.

Однако, эти беспроводные системы уязвимы для угроз информационной безопасности. Функции навигации и связи самолетов переходят от работы в качестве изолированной и независимой системы к интеграции в централизованную сетевую систему, которая зависит от обмена цифровой информацией между электронными устройствами [Глобальный план обеспечения авиационной безопасности].

Современные архитектуры систем самолетов в значительной степени полагаются на сети на базе IP, которые соединяют между собой органы управления полетом, дисплеи, двигатель и т.д. Обеспечивая глобальную сеть эти авиационные технологии создают множество точек доступа к авиационным сетям, в результате уязвимости системы безопасности, отсутствующие в

предыдущих конструкциях самолетов, могут существенно повлиять на текущую безопасность самолета, появляется несанкционированный доступ к системам самолета (GateLink, WLAN, AFDX, HUMS, EFB).

Как и другие информационные системы, системы на авиатранспорте подвержены ряду типовых уязвимостей.

На 2020 год можно выделить следующие типы уязвимостей автоматизированных систем по частоте возникновения:

1. Переполнение буфера.
2. Недостаточная проверка входных данных.
3. Инъекции.
4. Недостаточная авторизация/аутентификация.
5. Межсайтовый скриптинг.
6. Раскрытие конфиденциальной информации.
7. Недостаточный контроль доступа.
8. Обход каталога.

При этом, по данным лаборатории Касперского, наибольшее количество уязвимостей было выявлено в:

1. Инженерном ПО (20%).
2. Сетевых устройствах (15%).
3. SCADA/HMI компонентах (12%).
4. DSC (11%).
5. ПЛК (9%).
6. Компоненты систем видеонаблюдения (3.3%).
7. ОС (2.2%).
8. Другие.

Распределение уязвимостей по возможным последствиям:

1. Удаленное выполнение кода (30.1%).
2. Отказ в обслуживании (14.6%).
3. Выполнение служебных команд в обход авторизации (13.6%).
4. Повышение привилегий или перехват сессии (13.6%).
5. Модификация файлов (6%).
6. Чтение файлов (3%).
7. Сбой в работе аппаратного обеспечения (3%).
8. Обход механизмов защиты (1%).
9. Другие.

Заключение

Основные цели информационной безопасности на воздушном транспорте:

1. Создание культуры информационной безопасности. Кибербезопасность и АСУ рассматриваются как неразделимые и интегрированные во всем транспортном секторе.

2. Организация изолированного ИТ-сегмента для всех подсистем АСУ авиапредприятия.

3. Оценка и мониторинг рисков. Транспортный сектор должен иметь надежный пакет рекомендуемых средств анализа безопасности АСУ для эффективной оценки и мониторинга рисков.

4. Разработка и внедрение мер по снижению рисков. Создание решений по обеспечению безопасности для устаревших систем, новые архитектурные решения и защищенные системы связи должны быть доступны во всем транспортном секторе.

5. Управление инцидентами. Транспортный сектор должен быстро извещать об инцидентах, связанных с кибербезопасностью АСУ, должны внедряться и действовать стратегии смягчения последствий.

Литература

1. Глобальный план обеспечения авиационной безопасности – [Электронный ресурс] – 2017. – URL: https://www.icao.int/EURNAT/Documents/GASEP/GASEP2017_RU.pdf (дата обращения: 03.11.2020).

2. Косьянчук В. В. Концепция обеспечения информационной безопасности бортового оборудования воздушного судна / В. В. Косьянчук, Н. И. Сельвесюк, Е. Ю. Зыбин, Р. Р. Хамматов, С. С. Карпенко // Вопросы кибербезопасности. – 2018.

3. Трояковский В. М. Информационно-управляющие системы и прикладная теория. – М.: Гелиос АРВ, 2004.

4. NIST Special Publication 800-82 Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security – [Электронный ресурс] – 2018. – URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-82r2.pdf> (дата обращения: 03.11.2020).

5. Wolf M., Minzlaff M., Moser M. Information technology security threats to modern e-enabled aircraft: A caution note // Journal of Airspace Information Systems – 2014 – №7 – p. 447 – 457.

УДК 656.7.022.82

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ МЕЖДУ ЭКИПАЖЕМ ВС И ОРГАНОМ ОВД ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХЕШ-ФУНКЦИЙ

Перевалов Д. Н., Ключенок Д. А., Котляров А. С.

Шагарова А. А., канд. техн. наук
(научный руководитель)

Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного Маршала авиации
Б.П. Бугаева
(г. Ульяновск)

Гражданская авиация в своей истории насчитывает вот уже 117 лет. Однако, данная цифра не должна подкупать – в масштабах истории других видов транспорта, это слишком малый промежуток времени. Что это может значить? Авиация имеет пока еще слишком большой потенциал для развития, что с одной стороны имеет

отрицательное значение – безопасность является всё еще актуальным вопросом, в котором человечество и по сей день не может достигнуть совершенства.

Данная работа посвящена решению двух проблем, связанных с обеспечением безопасности радиообмена между диспетчером и пилотом – возможности перехвата переговоров, внедрения в радиообмен и подачи ВС команд, ведущие за собой цель устроить теракт, угон судна или авиакатастрофу, а также увеличение помехоустойчивости доступных средств связи, что тоже вносит свой вклад в исключение недопонимания между пилотом и диспетчером.

Решение обеих проблем состоит в использовании так называемых хеш-функций. Они позволяют при минимальных изменениях в современной технике привести к полному исключению возможности вторжения в радиообмен, а также уменьшению вероятности принять экипажем искаженное сообщение.

Использование хеш-функций является прогрессивным способом обеспечения безопасности и достоверности радиообмена – он не требует больших вложений при внедрении, не включает в себя шифровку данных (что не требует дешифрации, а значит и ошибок при дешифрации), является простым в исполнении, а значит крайне надежным.

Таким образом, решаются одни из основных проблем современной гражданской авиации при сохранении экономичности используемых средств радиообмена.

Ключевые слова: хеш-функция, безопасность радиообмена, достоверность, теракт, внедрение, помехоустойчивость, ACARS.

Хеш-функция – это математическая функция или алгоритм, позволяющий преобразовать входящий поток информации неограниченного объёма в битовую строку определённой длины с парным количеством символов.

Для наиболее подробного определения понятия хеш-функции необходимо ввести дополнительные определения, связанные с этим термином.

Хеширование – процесс алгоритмизации входных данных в выходную строку (хеш).

Хеш – результат алгоритмического преобразования. Битовая строка фиксированной длины, состоящая из случайных символов, подобранных алгоритмом [Что такое хэш и хэш-функция].

Так как на вход поступает неопределённое количество символов, от одного до бесконечности, а выходная строка имеет фиксированную длину, следовательно, могут встречаться входные данные, имеющие одинаковый хеш. Проблема такого рода носит название коллизия.

Коллизия – один и тот же результат хеширования для разных входных данных.



Рисунок 1 – Работа хеш-функции на примере алгоритма MD5

Приемлемая хеш-функция должна обладать следующими свойствами:

1) Необратимость;

Из полученного хеша невозможно получение входной строки.

2) Лавинный эффект;

При внесении малейших изменений во входящий объем данных выходная строка должна полностью изменять свой вид.

3) Применимость к аргументу любого размера;

Алгоритм хеш-функции должен обрабатывать объем входящей информации любого размера.

4) Фиксированный размер выходного размера хеш-функции;

Объем выходящих данных должен быть строго фиксированной длины, независимо от объема данных принимаемых на входе.

5) Устойчивость к коллизии;

Как выше было сказано, из-за того, что размер выходной строки строго ограничен, невозможно избежать коллизии. При разработке алгоритма хеш-функции необходимо сделать так, чтобы задача нахождения входных строк с одинаковым хешем была трудной и долгорешаемой.

6) Простота алгоритмизации;

Алгоритм хеш-функции должен быть достаточно прост для того, чтобы задействовать как можно меньше ресурсов при обработке данных. Это сказывается на скорости работы самого алгоритма.

Практическое применение хеш-функций:

1. Протокол для проверки целостности информации. В процессе передачи сообщения вычисляется хеш передаваемого объема информации. Результат передается вместе с сообщением. При приеме информации получатель вычисляет хеш сообщения и сравнивает его с полученным хешем. Несовпадение хешей равняется ошибке. С помощью данного алгоритма можно за короткое время удостовериться в целостности информации;

Пример на основе алгоритма MD5:

Хеш (Информация) = A7FD9BEE17172EDE11112E463B50D260

Хеш (Информация) = 94AC2BD037E1A5023B0696B7C6D7A2FD

С помощью данного алгоритма, при скачивании файлов с интернета, можно удостовериться в подлинности скачанной копии. В данном примере можно пронаблюдать такое свойство хеш-функции, как лавинный эффект.

2. Резервация паролей. Большинство серверов в основном хранит пароли пользователей в виде хеш-кода. Сберегать пароли в текстовом формате очень небезопасно, в таком случае, получив доступ к данным сервера, злоумышленник получает доступ к паролям пользователей. Если же хранить пароли в значении хеш, столкнувшись с такой ситуацией, злоумышленник даже не будет стараться, потому что получить изначальные данные из хеша практически невозможно. Доступ к аккаунту на сервере осуществляется путем сравнения хеш-кода пароля, вводимого пользователем с данными, хранящимися на сервере. В данном примере можно пронаблюдать такое свойство хеш-функции, как необратимость.

3. Электронно-цифровая подпись (ЭЦП). Существует два вида

шифрования: симметричное и асимметричное. В ЭЦП используется асимметричный вид шифрования. Асимметричный вид используется в том случае, когда оба пользователя заранее не договорились о едином ключе шифрования. Тогда применяется два ключа: закрытый и открытый. Информация шифруется открытым ключом, и только пользователь, имеющий закрытый ключ, может эту информацию расшифровать. В ЭЦП операция происходит в обратном направлении. Документ сопровождается сообщением, которое зашифровано закрытым ключом. Любой пользователь может проверить подлинность электронной подписи, применив открытый ключ. Сравнивается хеш двух информационных наборов, если они совпадают, то документ можно считать оригинальным, а подпись подлинной.

Проблемы, связанные с вмешательством третьих лиц, могут быть решены внедрением хеширования в цифровые системы связи, применяемые в обмене текстовыми сообщениями между пилотами и авиадиспетчерами. Исследования в области безопасности показали, что злоумышленники могут использовать фундаментальные недостатки, существующие на сегодняшний день в таких системах, как, например, ACARS, CPDLC и т.п. Для определения возможного метода внедрения хеширования, необходимо разобраться в принципе работы систем передачи данных. В качестве основополагающей системы будет взята цифровая адресно-отчётная система авиационной связи ACARS [<https://en.wikipedia.org/wiki/ACARS>].

Лётная эксплуатация данной системы состоит в следующем: пилот устанавливает одну из радиостанций в режим DATA, то есть в режим «приём-передача» информации. Частота устанавливается автоматически по заранее запрограммированным данным. Далее на пульте FMS набирается адрес получателя и само сообщение. При приёме сообщения с земли («Uplink») приёмник направляет сигнал в демодулятор, далее используется одна из программ декодирования, например, «AirNav ACARS Decoder». При отправке сообщения на землю («Downlink») кодирующее устройство преобразует сообщение в первичный электрический сигнал, после чего модулятор преобразует его во вторичный (высокочастотный) сигнал, и с помощью ОБЧ радиосвязи он передаётся на наземную радиостанцию. Система ACARS работает по аналогии с телексной сетью "точка-точка".

Во избежание вмешательства злоумышленников в коммуникационные системы «пилот-авиадиспетчер» и «пилот-авиакомпания» предлагается внедрение хеширования основной информации, передаваемой между землёй и воздушным судном, вместе с определённым кодом.

Итак, рассмотрим возможный алгоритм работы с системой ACARS с внедрённым хешированием, который представлен ниже:

1. Сам код может быть присвоен воздушному судну авиакомпанией или диспетчерским пунктом, осуществляющим аэродромное диспетчерское обслуживание. Информация будет являться строго конфиденциальной, за разглашение третьим лицам которой виновный может быть привлечён к уголовной ответственности.

2. Данный код должен быть разослан в зашифрованном виде от диспетчерского пункта, осуществляющего на данном аэродроме диспетчерское обслуживание к органам ЕС ОрВД, обеспечивающим планирование использования воздушного пространства и организацию потоков воздушного движения, осуществляющим диспетчерское обслуживание подхода, районное диспетчерское обслуживание и полётно-информационное обслуживание, т.е. всем диспетчерским пунктам, работающим с воздушным пространством данного воздушного судна. КВС получает данный код непосредственно перед полётом и вводит его в систему.

3. Авиадиспетчер или авиакомпания набирает сообщение, адресованное определённому воздушному судну. Это сообщение отправляется на борт в двух видах (рис. 2):

А) Само сообщение в нетронутом виде;

Б) Сообщение + код, прошедшие стадию хеширования.



Рисунок 2 – Виды отправленного сообщения

4. «Management Unit», являющаяся подсистемой ACARS и призванная отвечать за приём и передачу сообщений, принимает хеш (сообщения и кода) и само сообщение [<http://www.radioscanner.ru/info/article159/>].

5. Далее производится хеширование (тем же алгоритмом, что и на земле) полученного в нетронутом виде сообщения вместе с кодом, который заранее был введён командиром воздушного судна в систему (см. пункт 2). То есть на выходе получается хеш, состоящий из сообщения и кода. Происходит сравнение двух хешей, а именно пришедшего с земли и полученного бортовой системой. Далее этой системой выдаётся соответствующий сигнал на подсистему «Management Unit».

6. В случае совпадения двух хешей подсистема «Management Unit»

передаёт нетронутое сообщение подсистеме «Control Unit», призванной отвечать за взаимодействие с экипажем. Она выводит сообщение на экран или принтер.

7. В случае несовпадения двух хешей подсистема «Management Unit» передаёт экстренное сообщение пилотам посредством подсистемы «Control Unit» о том, что могла произойти ошибка какой-либо системы или же попытка несанкционированного вмешательства. Пилоты могут быть обязаны сообщить о данном происшествии авиадиспетчеру.

На этом предложенный алгоритм работы завершён. Необходимо отметить, что хеширование является лишь одним из множества способов повышения безопасности в коммуникации между землёй и бортами.

Литература

1. Краткое введение в систему ACARS. [Электронный ресурс] – 2007. – URL: <http://www.radioscanner.ru/info/article159/> (дата обращения 05.11.2020)
2. Онлайн хэш-функции. [Электронный ресурс] – 2020. – URL: <https://convertstring.com/ru/Hash> (дата обращения: 05.11.2020)
3. Прием и декодирование ACARS. [Электронный ресурс] – 2020 – URL: <https://acdc.foxylab.com/acars> (дата обращения 05.11.2020)
4. Что такое хэш и хэш-функция: практическое применение, обзор популярных алгоритмов. [Электронный ресурс] – 2020. – URL: <https://cryptoperson.ru/cryptography/что-такое-hjesh-kod-i-hjesh-funkcija-prakticheskoe-primenenie-obzor-populjarnyh-algoritmov> (дата обращения: 05.11.2020).
5. ACARS. [Электронный ресурс] – 2020. – URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/ACARS> (дата обращения 05.11.2020)

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

Председатель – Вишнякова А. А., доцент кафедры ТЭиС ВТ, канд. социол. наук

УДК 629

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В ОТРАСЛИ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

**Владельщиков В. В., Гончарук П. В.,
Черняк Д. Е., Трушников А. А.**

Лымарь Е. А.
(научный руководитель)

*Троицкий авиационный технический колледж – филиал МГТУ ГА
(г. Троицк)*

Экономика России и всего мира в последние несколько лет испытывает серьезные колебания, и связаны они в большинстве своем с нестабильной политической ситуацией в ряде стран и сильной взаимосвязью многих отраслевых хозяйств. В данной статье авторская группа раскрывает суть понятия «импортозамещение» и предлагает свой пресс-обзор на актуальную тему. Представленная информация имеет обзорный характер и поможет «пролить свет» на существующую ситуацию в нашей стране и в мире в целом.

Ключевые слова: самолетостроение, импортозамещение, импорт, отечественная промышленность, развитие новых технологий, транспортная инфраструктура.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день актуальным является решение задач по импортозамещению во всех отраслях производства на территории РФ. Ведение бизнеса в системе рыночной экономики, основанной на приобретении систем, основных узлов и комплектующих у иностранных партнёров показало, что отсутствие заказов в отрасль отечественной промышленности тормозит продуктивное развитие научно-технического прогресса страны и приводит к банкротству действующих предприятий.

Одной из целей правительства РФ является возродить промышленность и межотраслевые связи, участвующие в самолетостроении, так как целостность страны с огромной территорией не может быть реализована без самолетов гражданской авиации.

Президент Владимир Владимирович Путин поручил создать авиакомпанию для перевозок на Дальнем Востоке и труднодоступных территориях. Если она появится, то будет эксплуатировать только российские

самолёты. «Данная авиакомпания будет эксплуатировать самолёты Объединённой авиастроительной корпорации, вертолёт и продукцию Уральского завода гражданской авиации» – сказал Анатолий Сердюков. Перевозчик поможет повысить мобильность россиян и придаст импульс рынку региональных авиаперевозок, считают в «Ростехе» [Воробьев, 2020].

На данный момент Госкорпорация «Ростех» продала действующему главе концерна «Калашников» Алексею Криворучко и его компании «Транскомплектхолдинг» 26% минус одна акция концерна за сумму более 1,5 млрд руб., заявил РБК глава «Ростеха» Сергей Чемезов. Сделка была закрыта 14 февраля 2018 г., отметил он.

Таким образом, доля частных инвесторов в «Калашникове» увеличена до 75% минус одна акция. Блокирующий пакет (25% плюс одна акция) остается у «Ростеха». «Это означает, что концерн как важный оборонный актив остается в поле зрения государства и мы сохраняем возможность влиять на ключевые процессы в компании», – пояснил Чемезов.

По итогам 2014 года концерн показал убыток. Согласно базе данных СПАРК, он составил почти 340 млн руб.

Согласно годовому отчету «Калашникова» за 2016 год, прибыль компании составила 2,3 млрд руб.

Зачем продавать?

Работа с инвесторами и частно-государственное партнерство – одно из основных направлений стратегии «Ростеха» до 2025 года. «Это реальный механизм развития промышленных активов, где возможности государства и частный капитал обеспечивают синергетический эффект», – пояснили в «Ростехе» [Воскресенский, 2018].

На рисунке 1 продемонстрировано действующее место ГК «Ростех» в структуре предприятий Российской Федерации.

«Ростех» (до 23 июля 2014 года – «Ростехноло́гии») – российская государственная корпорация, созданная в конце 2007 года для содействия в разработке, производстве и экспорте высокотехнологичной промышленной продукции гражданского и военного назначения. В её составе более 700 организаций, расположенных на территории 60 субъектов РФ и поставляют продукцию на рынки более 70 стран мира.

«Ростех» предложил создать авиакомпанию, которая будет эксплуатировать только российские самолёты и технику. Об этом заявил индустриальный директор госкорпорации Анатолий Сердюков. Новая авиакомпания должна «разрушить мифы об отечественном авиапроме» и убедить эксплуатантов, что российская техника безопасна и комфортна.

Рост выручки отрасли будет обеспечен прежде всего за счет внедрения узлов и комплектующих российского производства в конструкции отечественных перспективных воздушных судов, таких как SSJ-100, MC-21, в том числе в рамках программы импортозамещения.

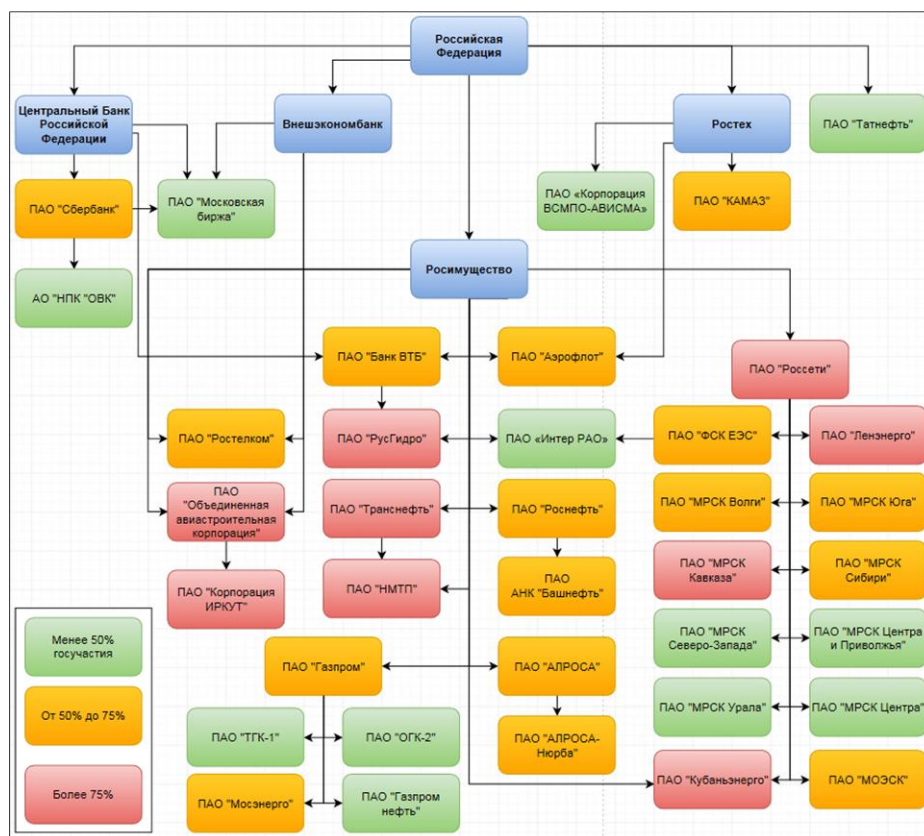


Рисунок 1 – Место ГК «Ростех» в структуре предприятий РФ

Текущая обеспеченность авиапарка страны состоит из иномарок Boeing и Airbus, а доля отечественного транспорта составляет менее 10 %, что больше говорит об отрасли, как об эксплуатанте, чем как о производителе. Однако в конце 80-х годов картина в стране и отрасли была совершенно иной. Самолетостроение того времени обеспечивало госзаказами промышленность страны, а значит рабочими местами и давало уверенность людям в завтрашнем дне.

Сегодня от рейсов авиакомпании и их загруженности напрямую зависит, какой авиапарк будет у данного перевозчика. Компания «Аэрофлот» обладает одним из самых молодых парков в мире: сейчас самолётов Sukhoi Superjet 100 (49 шт.), но с 2019 по 2026 год в авиапарк поступит еще 100 таких самолётов, согласно заключенному в 2018 году соглашению. Также авиапарк компании «Ямал» имеет: «Сухой RRJ-95LR-100» – 15 шт. [Авиакомпания «Аэрофлот»].

Основной целью разработки SSJ является развитие импортозамещения в авиации. Из всех суперджетов – доля отечественных деталей в нем будет достигать 50 – 60 %. По мнению эксперта Комитета Госдумы по транспорту Романа Гусарова, с экономической точки зрения проект может себя не оправдать, но зато с технологической – более чем.

«Было бы хорошо, чтобы сегмент производства не только самолётов, но и систем, агрегатов тоже развивался. Эта модернизация больше имеет в своей основе необходимость развивать собственные технологии и производственные мощности» – отметил Гусаров.

При этом эксперт отметил, что решение модернизировать именно SuperJet 100 не имело смысла – этот самолёт из-за своей вместимости не пользуется большой популярностью ни в России, ни в мире. 100-местные самолёты мало покупают из-за малого размера для магистральных перевозок и слишком больших для региональных перевозок. Даже при финансировании в 15 миллиардов рублей ничего принципиально нового с этим самолётом сделать не удастся, так как около половины этих самолётов будет производиться за рубежом [Нижельская, 2019].

Из этого эксперт сделал вывод о том, что России катастрофически не хватает собственных самолётов.

Отечественная авиапромышленность предложила на мировой и отечественный авиарынок самолет МС-21 различных модификаций. А именно МС-21 («Магистральный самолёт XXI века») – перспективный российский среднемагистральный узкофюзеляжный пассажирский самолёт. Программа семейства ближне-среднемагистральных самолётов МС-21 разрабатывается корпорацией «Иркут» совместно с входящим в её состав ОКБ Яковлева. МС-21 представлен в модификации:

- МС-21-100, призванный заменить Як-42Д и конкурирующий с Боинг-737 в сегменте воздушных судов пассажировместимостью 110-130 мест;

- МС-21-300, призванный заменить Ту-154 и конкурирующий с А-320 в сегменте воздушных судов пассажировместимостью 150-170 мест [Азанов, 2017].

Изначально старт серийного производства был запланирован на 2017 год, об этом заявлял министр промышленности и торговли Денис Мантуров, но потом последовали корректировки: сначала на 2018 год, а потом и на 2020-й. В конце февраля 2019-го выпуск перенесли на 2021 год, и до сих пор сохраняется опасность дальнейшего переноса на 2025 год из-за санкций против корпораций ОАК и «Ростех» [Мамонтов, 2019].

В начале 2019 года стало известно, что ограничения США в отношении АО «Аэрокомпозит» (входит в ОАК) и АО «ОНПП "Технология" имени Ромашина» («Ростех») поставили под угрозу создание композитного «черного крыла» для МС-21. О сложностях с поставками импортных композитов сообщила газета «Коммерсант» со ссылкой на источники. Ряд компонентов, использовавшихся для крыла и части киля, шли из США (Hexcel) и Японии (Toray Industries), но под давлением Вашингтона отгрузка прекратилась. Отказ от композитных материалов с переходом на металл лишил смысла весь проект, так как в таком случае МС-21 переставал быть конкурентом Airbus и Boeing.

Композиты позволяют сделать крыло с тонким профилем, которое снижает расход топлива, повышая таким образом экономическую эффективность самолета. Например, самолёты Airbus состоят на 70% из современных материалов, включая 46% композитных материалов и 24% алюминивно-литиевых сплавов, что позволяет на 15% снизить стоимость мили полёта и существенно уменьшить эксплуатационные расходы.

Ранее вице-премьер РФ Юрий Борисов заявил, что в связи с новыми западными санкциями наложен запрет на поставку композитных материалов, используемых при производстве крыла для самолета МС-21. По его словам, Минпромторг и корпорация «Иркут» ищут способы заменить иностранные композиционные материалы и ряд комплектующих на российские аналоги. Крупнейшим производителем углеродных композитных материалов в России является «Росатом».

В Подмосковье запускают производство агрегатов для МС-21 по программе импортозамещения. Правительство требует сократить наличие иностранных деталей в самолёте с шестидесяти процентов до трёх.

На текущий момент в сборке МС-21 частично используются комплектующие американских и европейских производителей. В подмосковной Балашихе в рамках программы импортозамещения для лайнера МС-21 ОАО Авиационная корпорация «Рубин» готовит производство плунжерных насосов для топливной и гидравлической систем, а также приводов электрогенераторов.

Сейчас конструкторы «Рубина» завершают разработку деталей, затем последуют испытания и их серийный выпуск. Новая продукция позволит в будущем полностью заместить аналогичные агрегаты зарубежного производства.

Финансирование проекта осуществляется за счёт кредита, который выделил Фонд развития промышленности. Сумма займа составила 300 млн рублей под 5% годовых, общий бюджет проекта – 1,8 млрд рублей. Особенность кредитования заключается в том, что предприятие начинает отдавать долги только после запуска производства.

Концерн радиоэлектронных технологий создал для семейства самолетов МС-21 полностью цифровой информационно-вычислительный комплекс (ИВК) системы управления, обеспечивающий заданный уровень безопасности полета за счет обоснованного построения архитектуры системы, разнородных аппаратных компонентов и разнородного базового программного обеспечения.

Новинкой для российского авиастроения также явилась установка на ИВК-КСУ-МС-21 дистанционного управления приводами по цифровому каналу обмена и обеспечение наивысшего уровня безопасности программного обеспечения. Электронный блок управления в данных приводах устанавливается непосредственно на привод либо рядом с ним. Связь электронного блока управления привода с вычислительной платформой ИВК осуществляется по цифровым каналам. Высокая частота информационного обмена дает возможность полного контроля работоспособности исполнительной части системы управления [Яковенко, 2019].

Корпорация «Промтех» ведёт импортозамещение бортовых кабельных сетей и трубопроводов на МС-21, где используется более 70 км проводов, если точнее, от 65 до 88 в зависимости от модификации, 2,5 тысячи электроразъемов, свыше 1000 трубопроводов – и все эти километры, сотни и тысячи позиций в виде готовых электрожгутов и трубопроводов поставляются на линию окончательной сборки самолётов в заводской готовности, чтобы только установить на самолёт, а затем проверить системы в сборе.

Переход от использования в составе борта зарубежного оборудования, соединяемого с помощью бортовых кабельных (БКС) и трубопроводных систем к отечественным агрегатам и системам, должен пройти безболезненно и быть «бесшовным». Такой подход обеспечивается с помощью гибкой системы управления изменениями, применяемой на предприятиях корпорации «Промышленные технологии».

Разработкой БКС и трубопроводных систем занимается ОКБ «Аэрокосмические системы», а производятся на предприятиях «Промтех Дубна» и «Промтех Иркутск». Первые серийные комплекты БКС и трубопроводов уже запущены в серийное производство.

Кроме того, в ОКБ «Аэрокосмические системы» ведётся работа по импортозамещению такой важной составной части семейства самолётов МС-21, как системы электроснабжения

По данным Фонда развития промышленности, продукция «Рубина» будет также использоваться в пассажирском самолёте Ил-114-300, самолёте-амфибии Бе-200 и российско-китайском широкофюзеляжном лайнере CR929.

Самолет Ил-114-300 – модернизированный вариант турбовинтового самолета Ил-114. Планируется, что на внутренних авиалиниях он заменит зарубежные лайнеры аналогичного класса (ATR-42, ATR-72, Q400), а также устаревшие Ан-24 и Ан-26.

Производство таких самолетов планируется поставить на поток в 2021 году. Первые опытные образцы изготовят путем доработки и модернизации построенных еще в СССР Ил-114, а серийные самолеты будут строить с нуля.

Правительство РФ определилось с площадкой для производства пассажирского турбовинтового самолета Ил-114. Как заявил вице-премьер Дмитрий Рогозин, проект общей стоимостью 35 млрд руб. будет реализован на нижегородском авиастроительном заводе «Сокол». [Борисов, 2019].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно сделать вывод, что программа правительства импортозамещения однозначно окажет положительный эффект на развитие новых технологий, транспортной инфраструктуры, машиностроения, производства алюминия, добычи полезных ископаемых и многих других. Также способствует решению социальных задач, таких как снижение уровня безработицы путем создания рабочих мест и модернизации экономики страны в целом.

Литература

1. Авиакомпания «Аэрофлот» – 2020 – [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.aeroflot.ru/ru-ru/about/plane_park (дата обращения: 05.03. 2020)
2. Азанов Р. Авиалайнер XXI века: в чем секрет новейшего российского самолета МС-21. 17 октября 2017 г. – [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/4286572> (дата обращения: 17.10.2020)
3. Борисов Ю. Импортозамещение необходимо – это наша национальная безопасность. 26 ноября 2019. – [Электронный ресурс] Режим доступа:

<https://zen.yandex.ru/media/pilot1944awn/importozamescenie-neobhodimo-eto-nasha-nacionalnaia-bezopasnost-5ddcea02b01a39287235cbb4> (дата обращения: 15.10.2020)

4. *Воробьев А.* Путин поручил создать авиакомпанию для перевозок пассажиров на Дальнем Востоке. 16 января 2020 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/01/15/820704-aviakompaniyu-vostoke> (дата обращения: 15.10.2020)

5. Воскресенский М. "Ростех" продал 26% акций "Калашникова" частному инвестору. 15 февраля 2018 г. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.rbc.ru/politics/15/02/2018/5a8474b39a7947e5adcc450f> (дата обращения 21.10.2020)

6. *Мамонтов С.* Запуск серийного производства самолета МС-21 перенесли из-за санкций. 18 февраля 2019 г. – [Электронный ресурс] Режим доступа: https://ria.ru/20190218/1551030342.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop (дата обращения: 15.10.2020)

7. *Нижельская О., Струкова Т.* Модернизация SSJ100 не принесет прибыли. Это инвестиции в технологии. 23 декабря 2019 г. – [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://360tv.ru/news/tekst/modernizatsija-ssj100/> (дата обращения: 15.10.2020)

8. *Яковенко А.* Самолет МС-21 из Иркутска может остаться без импортных композитов из-за санкций США. 10 января 2019 г. – [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/202002276> (дата обращения: 15.10.2020)

УДК 656

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ ВОЗДУШНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Герлиц А. В.

Вишнякова А. А., канд. соц. наук
(научный руководитель)

Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)

В статье рассмотрены вопросы организации безопасной перевозки опасных грузов воздушным транспортом, вопросы требований и рекомендаций, изложенных в нормативных документах, регулирующих воздушные перевозки опасных грузов.

Ключевые слова: опасные грузы, гражданская авиация, воздушный кодекс, воздушное судно, ИКАО, ИАТА.

Для того чтобы быстро и без потерь перевезти любой груз, как отправителю, так и перевозчику очень важно учитывать его транспортные характеристики. Под этим термином понимается совокупность таких факторов, как способ упаковки, физико-химические свойства, режим хранения, влияние на окружающую среду, степень опасности, масса и объем груза. Любая компания, оказывающая транспортные услуги, основывается на этих

характеристиках при выборе наиболее оптимальных технологий обработки и доставки различных товаров от продавца к покупателю.

Именно транспортные характеристики грузов лежат в основе их видовой классификации, которая является стандартной и применяется как у нас в стране, так и во всем мире. По видам перевозимые всеми видами транспорта грузы делятся на стандартные, негабаритные, сборные, контейнерные и опасные.

Стандартными грузами являются такие, которые не требуют соблюдения каких-либо особых условий при транспортировке, хранении и погрузочно-разгрузочных работах. К ним относятся одежда, обувь, большинство предметов домашнего обихода, бытовая и компьютерная техника, мебель, спортивное снаряжение и еще множество других массовых товаров.

К негабаритным грузам относятся те, геометрические и весовые параметры которых превышают некоторые пределы (которые, кстати говоря, для различных видов транспорта разные). Для транспортировки «негабарита» требуются специальная техника и разрешение. Кроме того, компании, которые занимаются перевозкой негабаритных грузов, должны заранее согласовать маршрут и соблюдать целый ряд определенных требований.

В последние годы большое распространение получила транспортировка так называемых сборных грузов. Под ними подразумеваются несколько отдельных партий товаров, которые принадлежат различным владельцам, но большую часть пути следуют одним и тем же маршрутом. В России очень распространены перевозки сборных грузов между крупными городами (например, Москвой и Санкт-Петербургом).

Отдельным видом считаются контейнерные грузы. Они размещаются в стандартной металлической емкости определенных размеров, которая может легко перегружаться с одного вида транспорта на другой. При этом доставка производится по принципу «от двери до двери», что существенно снижает транспортные издержки.

Опасные грузы – это вещества и предметы, содержащие потенциально опасные характеристики, и которые при неправильной транспортировке и обработке могут послужить причиной взрыва, пожара, гибели и увечья людей и порчи оборудования [Шагиахметова, 2010].

Согласно данным ООН, количество грузов, относящихся к категории опасных (взрывчатых, коррозионных, огнеопасных, ядовитых и радиоактивных) в мировом грузообороте постоянно растет и в настоящее время достигает почти половины мирового грузооборота. Эти опасные грузы необходимы для удовлетворения и обеспечения всемирных промышленных, коммерческих, медицинских и научно-исследовательских потребностей.

Учитывая преимущества воздушного транспорта в скорости доставки и возможности осуществления перевозок в труднодоступные районы, значительная часть этих опасных грузов перевозится по воздуху. Однако, при перевозке опасных грузов по воздуху существуют риски возникновения инцидентов и серьезных происшествий, влияющих на безопасность полетов. Правильный подход к выполнению принципов, связанных с обеспечением

безопасности при перевозке опасных грузов, дает возможность осуществлять перевозки таких опасных грузов безопасно.

Что касается опасных грузов, то данный вид груза подразделяются на девять классов и требует особых условий перевозки.

Класс 1 – взрывчатые вещества, категории 1.1–1.6.

Класс 2 – газы сжатые, сжиженные, растворенные под давлением, глубоко охлажденные, категории 2.1 - 2.3. ГОСТ 19433 - 88.

Класс 3 – легковоспламеняемые жидкости.

Класс 4 – легковоспламеняющиеся твердые вещества.

Класс 5 – окислители и перекиси, категории 5.1–5.2.

Класс 6 – ядовитые вещества, категории 6.1.–6.2.

Класс 7 – радиоактивные вещества.

Класс 8 – коррозионные вещества.

Класс 9 – прочие опасные грузы.

Каждый класс подразделяется на подклассы, категории и группы. Опасные грузы, которые имеют несколько опасных свойств, классифицируются по наиболее опасному свойству как основному классу, далее, по приоритету опасных свойств, они классифицируются как имеющие дополнительные классы опасности.

Многие безобидные на вид предметы могут, тем не менее, содержать опасные грузы. Отметим, что на каждое место груза наклеивают соответствующий знак опасности. В зависимости от содержимого упаковки с опасным грузом предусмотрены следующие три группы упаковки ООН:

- 1 группа – значительная опасность;
- 2 группа – умеренная опасность;
- 3 группа – не значительная опасность.

Перевозка опасных грузов по воздуху допускается, но при условии соблюдения действующих на этот счет правил и ограничений. Разрабатываются они на международном уровне (специалистами ООН и ИКАО) с дальнейшей детализацией в национальных правовых актах.

Основы транспортировки опасных грузов по воздуху сформулированы в следующих правовых документах:

- Чикагская конвенция о Международной гражданской авиации (Приложение 18 «Безопасная перевозка опасных грузов по воздуху»);
- Технические инструкции, регламентирующие авиационную перевозку опасных грузов (на постоянной основе корректируются и дополняются);
- Рекомендации комитета экспертов ООН по перевозке опасных грузов («оранжевая книга»);
- Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ);
- Требования, разработанные Правлением ИАТА по Ограничению перечня изделий, допущенных к перевозке ВТ;

– Справочник-руководство ИАТА «Правила перевозки изделий, на которые вводятся ограничения» (Restricted Articles Regulations), в дальнейшем, данный документ был назван «Dangerous Goods Regulations», который выпускает ИАТА на ежегодной основе, где наиболее полно отражены требования отрасли и авиакомпаний-перевозчиков. В 2019 году выпущено юбилейное, 60 издание DGR. Данные правила полностью соответствуют требованиям ТИ ИКАО;

– Национальный Воздушный кодекс;

– Национальные правила перевозки;

– Ведомственные акты органов государственного регулирования, регулирующие порядок оформления разрешений и иных бумаг на транспортировку опасных грузов (Правила пред- и послеполетного досмотра, Правила выдачи документов перевозчикам, Требования к аэропортам по безопасности и др.);

– Стандарты предприятия (внутренние документы организации (авиакомпания), где прописаны технологические операции при выполнении функции конкретных категорий работников и собственная политика авиакомпании при перевозке опасных грузов. Являются нормативными документами, требования которых обязательны для исполнения подразделениями авиакомпании, но не могут противоречить требованиям нормативных документов в области перевозки опасных грузов. Они могут быть выполнены в виде инструкций, руководств и т.д.);

– Нормы соответствующих документов об ответственности за нарушение правил перемещения опасных грузов.

Обычно международные и национальные правила идентичны, но если появляются расхождения, государство должно уведомить об этом ИКАО.

В основу всех перечисленных правовых актов положены два принципа – обеспечение максимальной безопасности людей, окружающей среды и имущества при авиационной перевозке опасных грузов, а также упрощение такой перевозки, если требования к безопасности соблюдены.

На опасный груз перед его отправкой по воздуху оформляются следующие сопроводительные документы:

– декларация на опасный груз (указываются данные самого отправителя и получателя, все сведения о грузе, включая количество, его массу с тарой и без, вид, класс и категорию опасности, меры безопасности для транспортировки);

– грузовая авианакладная;

– разрешение на воздушную перевозку опасных грузов (выдается на запрещенный к такой перевозке груз, но необходимый для государственных целей);

– документ об освобождении от правил транспортировки (выдается Росавиацией для отдельных случаев перевозки груза, не соответствующего правилам, но в котором остро нуждается получатель или иное лицо);

- договор на перевозку (доставку) груза;
- документы на груз, например, паспорт, сертификаты, заключения различных инстанций при их наличии.

Чтобы полет с опасным грузом на борту не закончился катастрофой, отправитель и перевозчик обязаны соблюдать правила:

- по упаковке груза (требования к упаковке разрабатываются специалистами ООН для всех видов опасных веществ).

- по размещению этих грузов (например, некоторые категории нельзя размещать по соседству, а упаковки должны быть закреплены так, чтобы они не двигались во время полета);

- по нанесению маркировочных знаков на грузы;

- по организации обучения всех лиц, допущенных к перевозке опасного вещества. Они должны осознавать, каждый в рамках своих обязанностей, насколько такая перевозка опасна, и вести себя соответственно. Требуемая база знаний персонала обеспечивает качественное выполнение функционала, изменяемого в соответствии с ролью участника воздушной перевозки опасных грузов. Минимум знаний, которыми должны обладать сотрудники при выполнении своих должностных обязанностей предполагает: общие принципы, ограничения, общие требования, предъявляемые к грузоотправителям, классификация, перечень опасных грузов, требования к упаковыванию, знаки опасности и маркировка, перевозочная и сопроводительная документация, правила приемки, распознавание необъявленных опасных грузов, правила хранения и погрузки, уведомление пилотов, положения для пассажиров и экипажа, порядок действий в аварийной обстановке. Следует отметить, что обучение проводится по специальным программам. По итогам обучения сотрудник должен успешно пройти тестирование.

Командир экипажа самолета должен знать, что именно перевозит. Кроме того, следует четко распределить обязанности между всеми работниками, обеспечивающими перевозку опасных грузов. Не должно быть наложения функций и недопонимания в том, кто и за что отвечает.

Чтобы законно оформить и отправить опасные вещества самолетом, отправителю следует действовать таким образом:

1. Определиться, что именно планируется перевозить и найти это вещество в классификации по инструкциям ИКАО. Если именно такое вещество в таблице не указано, нужно искать при помощи сравнения. Если и так не вышло, придется проводить испытания.

2. Выяснить, можно ли этот груз перевозить по воздуху и как это сделать (грузовым самолетом или пассажирским), в каком количестве допускается перевозка. Смотреть это нужно тоже в технических инструкциях. Выбрать перевозчика (авиакомпанию) и заключить с ним договор.

3. Подобрать аэропорт назначения (это может сделать перевозчик и согласовать с отправителем), так как не все аэропорты могут принимать такие грузы.

4. Правильно упаковать груз в соответствии с классом опасности.
5. Нанести на упаковку необходимую маркировку и знаки опасности.
6. Подготовить всю перевозочную и разрешительную документацию на груз.
7. Передать документы и партию груза выбранному перевозчику (за двое суток до отправления). Еще потребуются инструкции о том, как действовать, если произойдет повреждение упаковки, утечка её содержимого или другая аварийная ситуация.

Следует отметить, что все перечисленные правила и ограничения должны исполняться неукоснительно. Ведь их нарушение может повлечь серьезные последствия, вплоть до человеческих жертв. Закон к таким нарушителям суров:

- если последствий не наступило, сам факт несоблюдения законов станет основанием для административного штрафа (для граждан это максимум тысяча рублей, для предприятий – 20 тысяч);
- если в результате наступила смерть человека или нескольких, виновника привлекут к ответственности уголовной, а наказание будет зависеть от тяжести наступивших последствий.

Несмотря на всю опасность, связанную с воздушной транспортировкой опасных веществ, порой это необходимо. И такая перевозка может быть совершенно безопасной, если выполнить все требования закона на этот счет. Нельзя рисковать своей и чужими жизнями и отправлять опасный груз с нарушениями.

Таким образом, опасные грузы могут безопасно перевозиться воздушным транспортом только при выполнении всех требований и рекомендаций, изложенных в нормативных документах, регулирующих воздушные перевозки опасных грузов.

Литература

1. *КонсультантПлюс*. Официальный сайт компании [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 29.11.2020).
2. *Об утверждении федеральных авиационных правил «Общие правила воздушных перевозок пассажиров, багажа, грузов и требования к обслуживанию пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей» (Приказ Минтранса России от 28.06.2007 № 82)*. Официальный Интернет-ресурс Федерального агентства воздушного транспорта [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL <http://www.favt.ru/dokumenty-federalnye-pravila/?id=2916>. (дата обращения: 29.11.2020)
3. *Об утверждении федеральных авиационных правил «Правила перевозки опасных грузов воздушными судами гражданской авиации» (Приказ Минтранса РФ от 05.09.2008 № 141)*. Официальный Интернет-ресурс Федерального агентства воздушного транспорта [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.favt.ru/dokumenty-federalnye-pravila/?id=2917> (дата обращения 29.11.2020).
4. *Об утверждении федеральных авиационных правил «Сертификационные требования к юридическим лицам, осуществляющим аэропортовую деятельность по обеспечению обслуживания пассажиров, багажа, грузов и почты» (Приказ Минтранса России от 23.06.2003 № 150)*. Официальный Интернет-ресурс Федерального агентства воздушного транспорта [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL <http://www.favt.ru/dokumenty-federalnye-pravila/?id=2914> (дата обращения: 29.11.2020).

5. Об утверждении федеральных авиационных правил «Требования авиационной безопасности к аэропортам» (Приказ Минтранса России от 28.11.2005 N 142). Официальный Интернет-ресурс Федерального агентства воздушного транспорта [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.favt.ru/dokumenty-federalnye-pravila/?id=2927> (дата обращения: 29.11.2020).

6. Приказ Минтранса России от 31 июля 2009 г. N 128 Федеральные авиационные правила «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации». Официальный Интернет-ресурс Федерального агентства воздушного транспорта [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.favt.ru/dokumenty-federalnye-pravila/?id=2873> (дата обращения: 29.11.2020).

7. Шагиахметова Э. К. Основы грузовых авиаперевозок: Учеб. пособ. / Э. К. Шагиахметова. – 3-е изд., испр.и доп. – М.: Авиабизнес, 2010. – 184 с. ISBN 5-89859-076-5.

УДК 656.7

АЭРОПОРТЫ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ: СТРАТЕГИИ ВЫЖИВАНИЯ И РАЗВИТИЯ

Орлова Н. А.

Волосов Е. Н., д-р истор. наук
(научный руководитель)

Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)

В статье рассматриваются проблемы, связанные с влиянием пандемии COVID-19 на авиатранспортную отрасль. Особое место уделено российским авиакомпаниям и аэропортам. Проанализирована динамика пассажирских авиаперевозок в 2019 и 2020 годах. Выявлены причины сложностей, возникших у аэропортов и авиакомпаний с марта 2020 года. Рассмотрены мероприятия авиационных предприятий по сохранению и наращиванию пассажиропотока в условиях пандемии. Указаны и проанализированы мероприятия государства по поддержке авиатранспортной отрасли в условиях пандемии.

Ключевые слова: пандемия, аэропорты, антикризисные мероприятия, пассажироперевозки.

Пандемия ударила практически по всем отраслям мировой экономики. Падение спроса на товары привело к беспрецедентному сокращению объема предоставляемых транспортных услуг во всем мире.

Перспективы неутешительны – по итогам 2020 года мировой объем грузовых перевозок сократится на 36%, а потери российских транспортных компаний составят 230 млрд рублей.

При этом официально компании не раскрывали данные по убыткам от приостановки части полетов. Однако, например, Utair заявляла, что рассматривает возможность приостановки платежей по финансовому лизингу из-за пандемии и снижения цен на нефть.

Только массовые вывозные рейсы, организованные для возвращения россиян из стран с неблагоприятной обстановкой по коронавирусу, обходились авиакомпаниям минимум в 500 млн рублей ежедневно, рассказывали в Ассоциации эксплуатантов воздушного транспорта. Каждый рейс в зависимости от загрузки и типа самолета «стоил» от 2,5 млн до 5 млн рублей.

Российский рынок авиаперевозок показал колоссальную устойчивость по сравнению с зарубежными на фоне пандемии – отечественные аэропорты вошли в число самых загруженных в Европе. Летать по России некоторые перевозчики стали даже больше, чем в прошлом году.

Как отмечают эксперты АСИЕ, преобладание в списке аэропортов России и Турции связано в первую очередь с хорошей развитостью внутренних перевозок в этих странах. Именно это позволило некоторым воздушным гаваням даже нарастить пассажиропоток – например, в Домодедово в сентябре количество пассажиров на внутренних рейсах увеличилось на 15,6% к тому же месяцу прошлого года.

Самое резкое падение пассажиропотока у российских авиаторов произошло на международных рейсах, в основном сконцентрированных в Московском авиационном узле. Наименее всего перевозки пострадали в Сибири и на Дальнем Востоке, где альтернатив авиации нет, а сочинский аэропорт в августе даже побил рекорды пассажиропотока во время Олимпиады 2014 года. Еще во время весеннего карантина, когда в Москве осталось всего 5% от прежних объемов перевозок, в восточных регионах этот показатель составлял около 30%.

В октябре количество авиабилетов на внутренние рейсы, приобретенных представителями бизнеса, упало на 35% по сравнению с сентябрем, а снижение продаж авиабилетов относительно октября прошлого года достигло 65%.

Одновременно у деловых путешественников росла востребованность авиабилетов за рубеж – в этом сегменте по сравнению с сентябрем отмечается увеличение продаж на 9%, хотя спрос составил лишь 12% от объемов 2019 года.

На рисунке 1 наглядно видно существенное отставание ежемесячного пассажиропотока от уровня прошлого года. Снизилась и загрузка пассажирских кресел на рейсах. Уже сейчас можно сделать прогноз, что по итогам года картина может ухудшиться ввиду разворачивающейся по всему миру второй волны эпидемии COVID-19 и вновь вводимых ограничений.

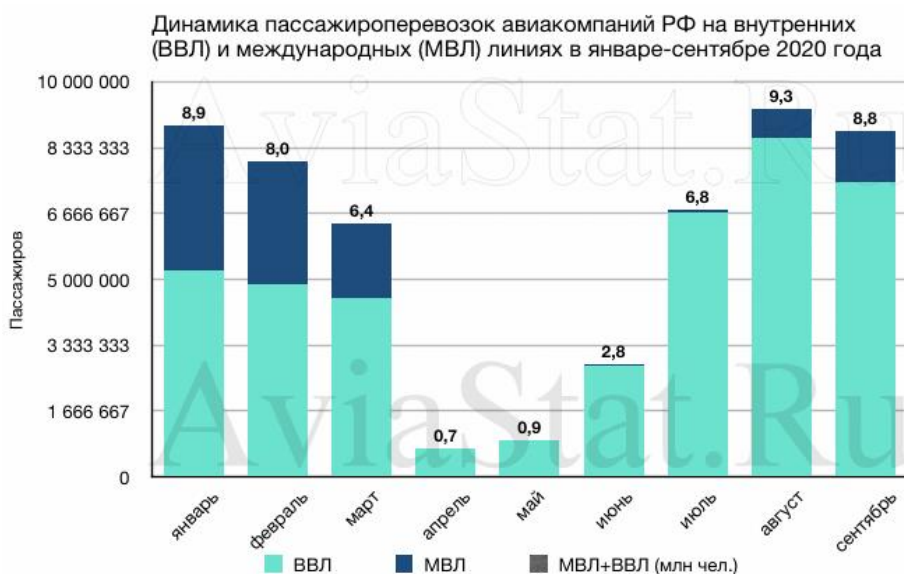


Рисунок 1 – Динамика пассажироперевозок авиакомпаний РФ

Ещё более удручающая картина получается, если посмотреть на пассажирооборот авиакомпаний - 48,4% от уровня прошлого года (рис. 2). Это указывает на сокращение дистанции своих полетов пассажирами, а значит выполнение авиакомпаниями меньшей работы и получение меньшей выручки. Экономическую картину ухудшает и более низкая стоимость авиаперелетов во втором и третьем квартале, по сравнению с прошлым годом.

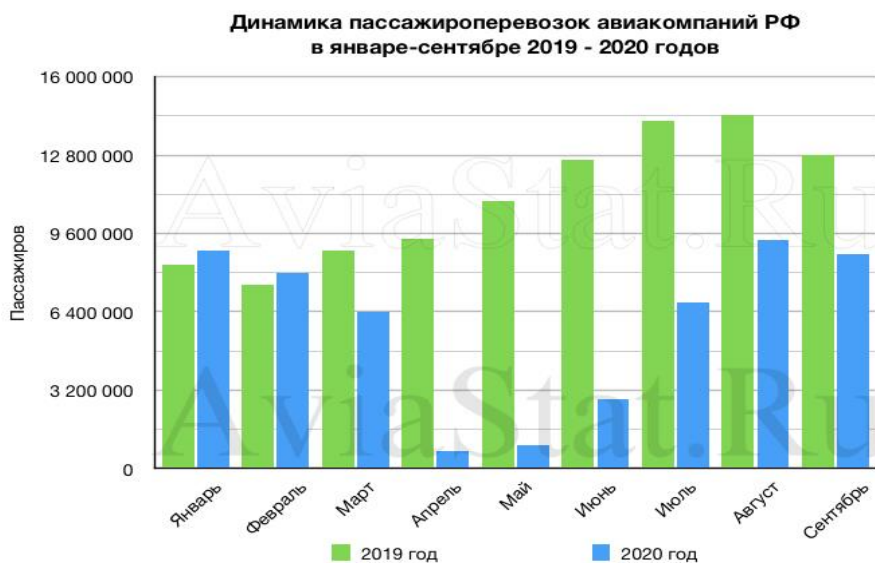


Рисунок 2 – Динамика пассажироперевозок авиакомпаний РФ в январе – сентябре 2019 – 2020 гг.

Как видно из графиков результатов авиаперевозок по итогам 9 месяцев за 10 лет, в нынешнем году авиаотрасль откатилась примерно на уровень чуть лучше 2011 года по пассажиропотоку и хуже 2011 года по пассажирообороту. Такая же картина наблюдалась и по итогам 6 месяцев (рис. 3). Таким образом, летняя навигация, даже с учетом открытия некоторых зарубежных направлений, общую ситуацию не улучшила.



Рисунок 3 – Динамика перевозок российских авиакомпаний в январе – сентябре 2010-2020гг.

Финансовое состояние авиаотрасли

Финансовое состояние российских авиакомпаний и аэропортов в настоящее время тяжелое, но банкротств пока не планируется. Об этом в четверг, 19 ноября, заявил в кулуарах «Транспортной недели-2020» заместитель руководителя Росавиации Алексей Новгородов [Новгородов, 2020].

«У нас сейчас пока не планируется банкротств ни аэропортов, ни авиакомпаний», – цитирует его ТАСС.

С начала пандемии правительство ввело целый комплекс мер поддержки отечественной авиаотрасли – и это дало результат, отмечает Павел Сигал, первый вице-президент «Опоры России». Компании хотя и понесли значительные убытки, держатся на плаву без признаков банкротства, выполняют рейсы внутри страны и за ее пределами, сохраняя при этом штат. Кроме того, после отмены ограничений на перелеты были снижены цены на авиабилеты, что стимулировало спрос и привлекло пассажиров – туристов и тех, кто отложил деловые поездки в начале эпидемии [Сигал, 2020].

В 2020 году аэродромная сеть России включает 241 аэродром и более 2040 посадочных площадок, сообщил генеральный директор Центра стратегических разработок в гражданской авиации Антон Корень на IX Международной конференции «Проектирование, строительство эксплуатация аэропортов – 2020» [Хохлова, 2020].

Аэропорты в период пандемии COVID-19 и основные направления в период пандемии.

На примере нескольких аэропортов можно посмотреть состояние их экономических показателей на период пандемии коронавируса.

Омский аэропорт подвел итоги деятельности за 9 месяцев текущего года. Для компании это был один из самых тяжелых периодов за последнее время – из-за пандемии пришлось неоднократно отменять рейсы, на которые упал спрос. Международное направление и вовсе не функционировало почти полгода.

В итоге с января по сентябрь аэропорт обслужил около 713,4 тыс. пассажиров. По сравнению с аналогичным периодом прошлого года пассажиропоток снизился на 33%. Сильнее всего – сразу на 81% – он просел на международных направлениях. На заграничных рейсах аэропорт обслужил только 27,9 тыс. человек.

По словам директора «Омского аэропорта» Олега Селиверстова, подобный результат во многом стал возможен из-за финансовой поддержки отрасли. Субсидирование достигло 51 миллиона рублей. Помимо этого, порядка 62 миллионов в акционерное общество пришло в виде дивидендов. 14 миллионов значатся в категории «прочие доходы».

Генеральный директор новосибирского аэропорта Толмачево Е. Янкилевич сообщил, что по взлетам и посадкам самолетов в течение марта – мая 2020 г. потери воздушной гавани составили порядка 25-30%, пассажиропоток уменьшился на 50%.

Предприятия авиационной отрасли Республики Якутия из-за пандемии коронавируса, как и в целом по стране, оказались одной из сильно пострадавших отраслей экономики. **В отличие от других регионов страны авиационная отрасль в Якутии является одной из системообразующих и стратегически важных отраслей, составляющих основу транспортной инфраструктуры.**

В настоящее время пассажиропоток по республике сократился в среднем на 45-50%. Сокращение пассажирских авиаперевозок и грузопотока на международных, межрегиональных и местных маршрутах оказало негативное влияние на снижение доходов авиапредприятий, а также привело к росту дебиторских задолженностей и истощению внутренних финансовых резервов. Поэтому авиапредприятиями республики приняты антикризисные планы, в том числе включающие мероприятия по оптимизации финансово-хозяйственной деятельности.

Аэропорт «Байкал» из республики Бурятия также очень сильно пострадал в первой половине 2020 г. В ноябре падение пассажиропотока составило около 45 процентов. В первую волну у аэропорта было падение пассажиропотока – 82%, в ноябре – 45%.

В аэропортах Дальнего Востока в прошлом году за период март – май дальневосточные авиакомпании перевозили порядка 500 тысяч пассажиров. В этом году в марте – мае авиаперевозка составила 344 тысячи пассажиров, то есть на 30% меньше. При этом авиакомпании в полном объеме понесли затраты на содержание авиапарка, лизинг и на другие расходы, связанные с эксплуатацией транспорта.

«Вместе с тем ни один из региональных авиаперевозчиков, работающих на Дальнем Востоке и в Арктике, не отказался от выполнения полётов по запланированным маршрутам по собственной инициативе», – сообщил министр по развитию Дальнего Востока и Арктики Юрий Трутнев [Трутнев, 2020].

Сейчас гораздо лучше, чем столичные хабы, чувствуют себя многие региональные аэропорты. В этом нет ничего странного. Самое резкое падение пассажиропотока у российских авиаторов произошло на международных

рейсах, в основном сконцентрированных в Московском авиационном узле. Весь оставшийся трафик – это перевозки между Москвой и регионами, а также меж- и внутрирегиональные перевозки. Наименее всего они пострадали в Сибири и на Дальнем Востоке, где альтернатив авиации нет, а сочинский аэропорт в августе даже побил рекорды пассажиропотока во время Олимпиады 2014 года. Еще во время весеннего карантина, когда в Москве осталось всего 5% от прежних объемов перевозок, в восточных регионах этот показатель составлял около 30%. [Гусаров, 2020].

Российский рынок авиаперевозок показал колоссальную устойчивость по сравнению с зарубежными на фоне пандемии – отечественные аэропорты вошли в число самых загруженных в Европе. Летать по России некоторые перевозчики стали даже больше, чем в прошлом году.

Пассажиропоток через крупнейшие российские аэропорты упал в прошлом месяце на 35% в годовом сопоставлении после снижения на 25% в сентябре.

Ранее МАА прогнозировала менее значительное падение перевозок в октябре – на уровне 28%.

Отметим также, что российские авиакомпании по итогам сентября сократили перевозки на 32,5% в годовом сопоставлении до 8,65 млн пассажиров, следует из данных Федерального агентства воздушного транспорта.

За первые 9 месяцев текущего года российские авиакомпании перевезли 52,56 млн пассажиров, что на 47% меньше результата годом ранее.

Напомним, что в связи с распространением по всему миру COVID-19, Россия уже с 1 февраля 2020 года закрыла все регулярные рейсы авиакомпаний РФ в Китай, кроме рейсов «Аэрофлота» в Пекин, Шанхай, Гуанчжоу и Гонконг.

С 14 февраля были также приостановлены чартерные рейсы российских авиакомпаний. Кроме того, было ограничено авиасообщение между Россией и Южной Кореей, а также с Ираном. Позже были отменены часть рейсов в Италию, Испанию, Францию, Германию, осталась лишь часть полетов в столицы этих стран и еще несколько городов, а также в Израиль.

С 22 марта Росавиация стала разрешать полеты только в столицы иностранных государств, а уже 26 марта правительство РФ полностью приостановило регулярные и чартерные перевозки за рубеж, оставив вывозные рейсы для возврата россиян на родину.

С 27 марта регулярное и чартерное авиасообщение в аэропорты иностранных государств и в обратном направлении, кроме рейсов для вывоза россиян, было полностью прекращено.

В середине июля премьер-министр РФ Михаил Мишустин назвал «непростой» ситуацию, сложившуюся на рынке авиаперевозчиков, которые несут «значительные издержки» из-за пандемии коронавирусной инфекции COVID-19. По словам главы правительства, «количество рейсов внутренних перевозок сократилось значительно, и практическая остановка международных перевозок повлияла в том числе на доходы» компаний и их работу.

При этом он указал, что правительство «приняло целый ряд важных решений», чтобы «поддержать авиационную отрасль». «В частности, внесло авиационную отрасль в число наиболее пострадавших и выделило соответствующие ресурсы. В частности, в рамках этой помощи предприятиям воздушного транспорта предусмотрена система отсрочек и льгот. Кроме того, мы выделили 23,4 млрд рублей в качестве компенсации расходов из-за сокращения пассажирских перевозок вообще российским авиакомпаниям», – подчеркнул Мишустин [Мишустин, 2020].

С 1 августа власти начали постепенно снимать запрет на международные полеты. Так, россияне могут посещать Лондон, Стамбул, Анкару, Занзибар. С 10 августа к числу разрешенных направлений присоединились Анталья, Даламан и Бодрум.

Перелеты из России после возобновления международного авиасообщения осуществляются не только российскими авиакомпаниями, но и зарубежными перевозчиками. Причем рейсы уже выполняются как на регулярной, так и на чартерной основе.

Государственная поддержка

В Федеральном агентстве воздушного транспорта продолжается работа по предоставлению субсидий российским авиакомпаниям и аэропортам на частичную компенсацию расходов в связи со снижением их доходов из-за падения объемов пассажирских перевозок.

С 14 мая в Росавиацию поступило 108 заявок от большинства российских авиакомпаний, осуществляющих пассажирские перевозки. Ряд авиакомпаний подавали заявки несколько раз, отдельно по месяцам. Условия и порядок предоставления субсидий установлены постановлением Правительства РФ от 13 мая 2020 № 661.

Принято положительное решение о предоставлении субсидий по 78 заявкам на сумму 11,7 млрд рублей. Авиакомпании получили субсидии на погашение расходов за коммерческие перевозки, выполненные с февраля по июнь.

Действующие Правила устанавливают, что «субсидия рассчитывается ежемесячно по результатам каждого месяца за период с февраля по июль 2020 года». В настоящее время Росавиацией подготовлены и направлены на межведомственное согласование предложения об увеличении периода предоставления субсидий авиакомпаниям. Для нивелирования рисков неплатежеспособности авиаперевозчиков предлагается продлить срок действия программы субсидирования авиакомпаний до сентября 2020 года включительно. Также предлагается включить в перечень компенсируемых расходы по статьям «Затраты на техническое обслуживание парка воздушных судов и авиационных двигателей» и «Затраты на авиаГСМ», в том числе увеличить ставку расходов на 1 «потерянного» пассажира до 840 рублей [Федеральное агентство воздушного транспорта, 2020].

Дополнительно при расчете субсидии предлагается применение корректирующих коэффициентов в размере 1,35 для авиакомпаний, которые по

итогах 2019 года перевезли более 500 тыс. пассажиров, и доля полетов на регулярных воздушных линиях которых составляет более 50%. В размере 2,1 – для российских авиакомпаний, зарегистрированных и осуществляющих свою деятельность на территории Дальневосточного федерального округа.

В рамках реализации постановления Правительства РФ от 3 июня 2020 № 813 получено 257 заявок от российских аэропортов на предоставление субсидий на погашение расходов, понесенных ими во II квартале.

На сегодня приняты положительные решения о предоставлении субсидий по 152 заявкам за апрель и май на общую сумму 4,7 млрд рублей. Это составляет 43% от общего объема выделенных бюджетных ассигнований. Общая сумма поданных заявок составляет 7,3 млрд рублей, т.е. 67% от всей суммы субсидии.

Литература

1. Гусаров Р. Страница поста от канала Авиадиспетчер [Электронный ресурс] – 2020. – URL: https://telegramfor.me/chan_post.php?id=88256563 (дата обращения: 26.11.2020).

2. Мишустин назвал ситуацию на рынке авиаперевозок непростой [Редакционная] [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://ria.ru/20200714/1574318911.html> (дата обращения: 27.11.2020).

3. Новгородов А. Росавиация не ожидает банкротств из-за тяжелого положения авиаотрасли [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4576757> (дата обращения: 28.11.2020).

4. Федеральное агентство воздушного транспорта [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: [https:// favt.ru/](https://favt.ru/) (дата обращения 20.11.2020).

5. Хохлова А. В 2020 году аэродромная сеть РФ включает 241 аэродром и более 2040 посадочных площадок [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://www.rzd-partner.ru/aviation/news/v-2020-godu-aerodromnaya-set-rf-vklyuchaet-241-aerodrom-i-bolee-2040-posadochnykh-ploshchadok/Хохлова> (дата обращения: 16.11.2020).

6. Юрий Трутнев: авиакомпании Дальнего Востока и Арктики необходимо поддержать [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: [https:// egov-buryatia.ru/press_center/news/detail.php?ID=73785](https://egov-buryatia.ru/press_center/news/detail.php?ID=73785) (дата обращения: 19.11.2020).

УДК 330.567

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВОЕННЫХ РАСХОДОВ

Сутягин В. М.

Чернышева Г. Н.

(научный руководитель)

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

В статье исследуется, как исторически решалась проблема оптимизации бюджетных расходов, связанных с обеспечением оборонных потребностей РФ по политическим факторам и факторам экономических возможностей государства. Статистическая оценка влияния факторов проводится по периодам существенных изменений в

экономической и политической ситуации в стране с использованием показателей динамики.

Ключевые слова: государственные расходы, национальная безопасность, военные расходы, экономический рост, темпы роста, темпы прироста.

Военные расходы входят в состав основных приоритетов бюджетных расходов и направлены они на обеспечение обороноспособности и безопасности государства. Распределение бюджетных расходов осложняется их ограниченным характером, поэтому анализ факторов, влияющих на размер военных расходов, несомненно, носит актуальный характер.

Теоретически, по мнению авторов, на размер военных расходов могут оказывать влияние два основных фактора: финансовые возможности государства и уровень международной напряженности.

Гипотеза, что объемы финансирования военных расходов прямо пропорциональны уровню международной напряженности, не имеет обоснованного подтверждения. Также нельзя в полной мере утверждать, что чем выше темпы экономического развития государства, тем больше средств оно может выделить на военные расходы.

Для подтверждения вышеуказанных положений авторами был выполнен анализ динамики военных расходов по периодам существенных изменений экономической и политической ситуации в стране:

1. Послевоенный период (1945-1960 гг.);
2. Период экономических реформ и гонки вооружений (1961-1990гг.);
3. Период экономических кризисов в связи с переходом к рыночным условиям (1991-2001 гг.);
4. Период экономической стабилизации (2002-2014 гг.);
5. Период экономических санкций в отношении России (с 2014 г. по настоящее время).

Для обеспечения сопоставимости данных результатов анализа в оценке динамики военных расходов были использованы базисные и цепные темпы роста [Чернышева, 2012, с. 65] по показателям расходов на оборону в пересчете на одного жителя.

Характерной особенностью послевоенного периода является энтузиазм населения в восстановлении разрушенного народного хозяйства, перевод предприятий, производящих военную продукцию на производство продукции гражданского назначения.

Динамика¹ военных расходов в данный период представлена на рис.1 и 2.

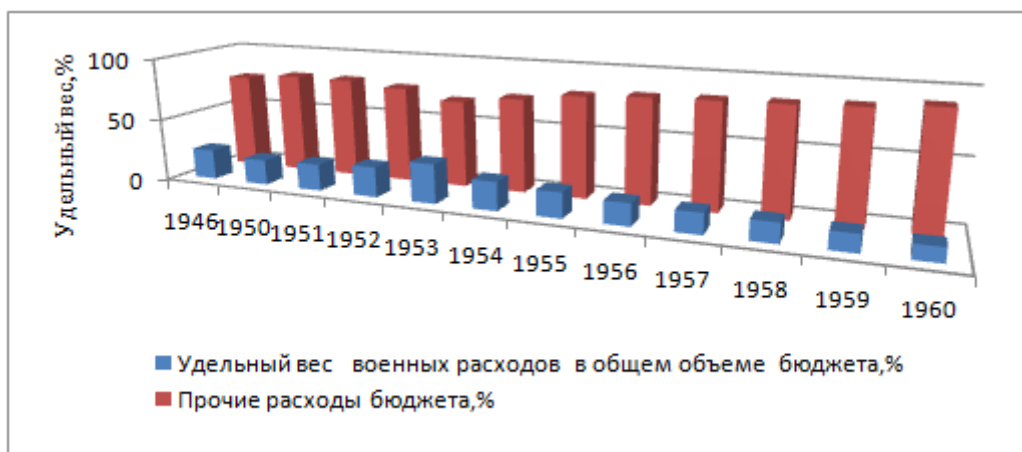


Рисунок 1 – Динамика доли военных расходов СССР в 1946-1960 гг.

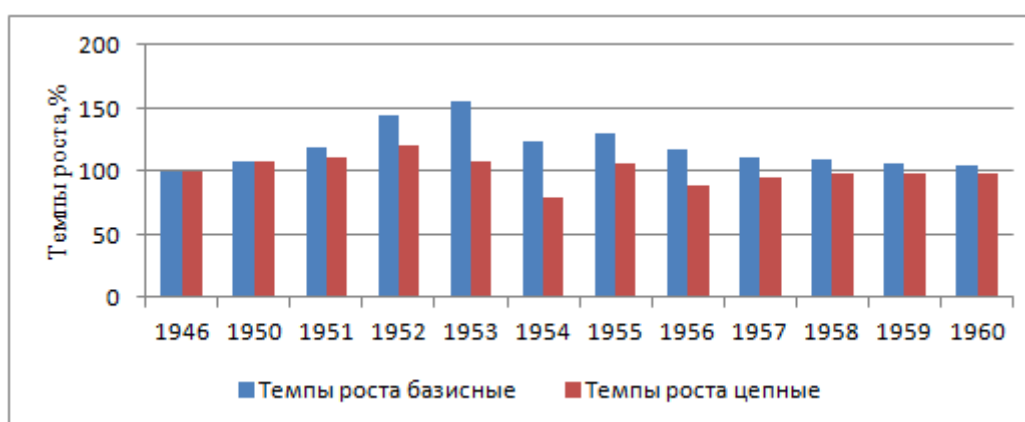


Рисунок 2 – Темпы роста военных расходов СССР 1946-1960 гг.

Динамика военных расходов, представленная на рис. 1, 2 показывает, что до 1953 г. происходил их равномерный рост. В дальнейшем периоде, начиная с 1956 года, наблюдается снижение военных расходов. Это может быть объяснено тем, что восстановление экономики, в первую очередь, осуществлялось за счет восстановления военно-промышленного комплекса (ВПК) для производства военной техники и вооружения. Расходы, вложенные в военное производство и военные разработки, обеспечили развитие инновационных технологий, которые в гражданском секторе способствовали росту экономики.

Период экономических реформ и гонки вооружений начался с экономических (денежных) реформ 1961 г. (1961-1990гг.).

Этот период связан с освоением космоса, увеличением финансирования фундаментальных исследований, гонкой вооружений в противостоянии с блоком НАТО.

Указанные факторы объясняют рост военных расходов до 1985 г. Проявление кризисных явлений плановой экономики привели к снижению темпов роста военных расходов в последующие отрезки времени (рис. 3, 4).

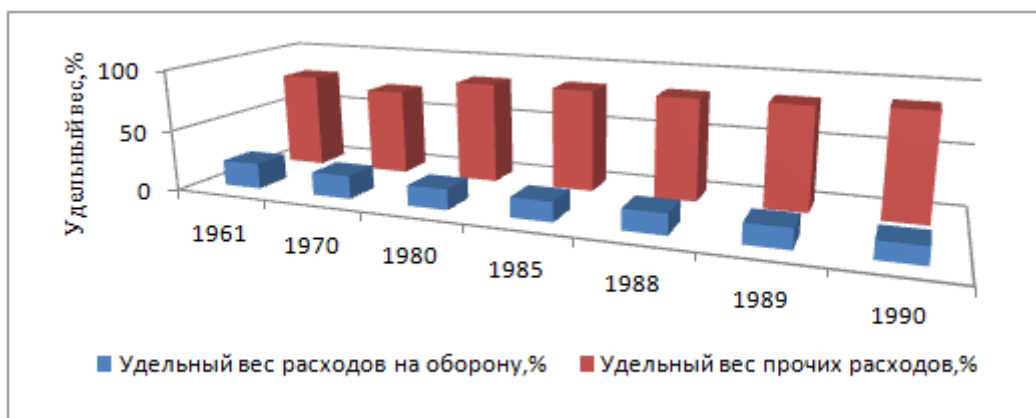


Рисунок 3 – Динамика доли военных расходов СССР в 1961-1990 гг.

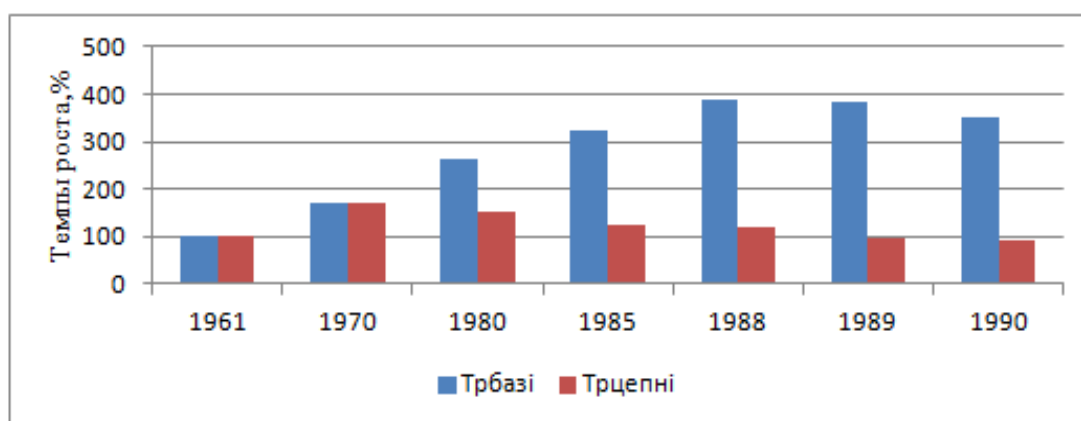


Рисунок 4 – Темпы роста военных расходов СССР в 1961-1990 гг.

Обострение кризисных явлений в экономике, вынужденный переход к рыночным условиям хозяйствования, а также принятие ряда соглашений в области ядерного оружия с США, привело к снижению темпов роста расходов на оборону в период 1991-2001 гг.

Экономический кризис спровоцировал гиперинфляцию и массовое банкротство предприятий военно-промышленного комплекса.

Поскольку уровень инфляции может существенно исказить размер реальных военных расходов, для точности выводов была выполнена корректировка номинальных расходов на уровень инфляции [Чернышева, 2012, 1, с.151; Инфляция в России].

Динамика военных расходов в период 1991-2001 гг. представлена на рис. 5, 6.

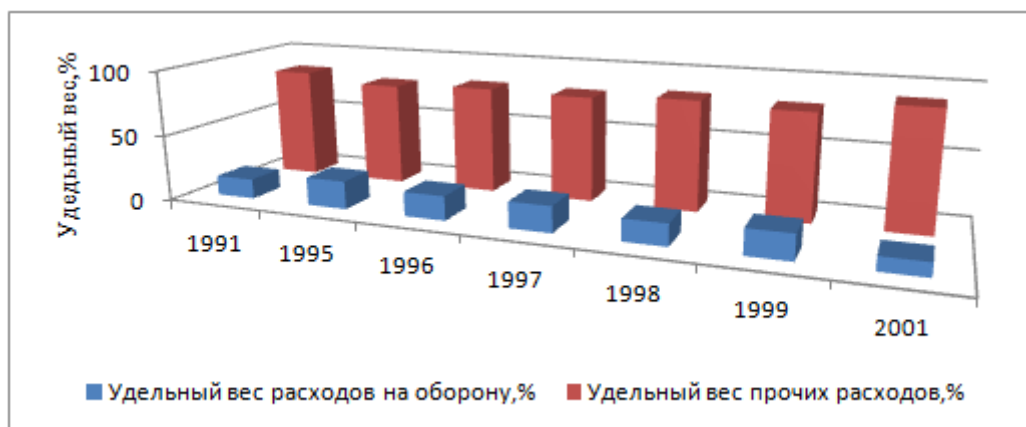


Рисунок 5 – Динамика доли военных расходов РФ 1991-2001 гг.

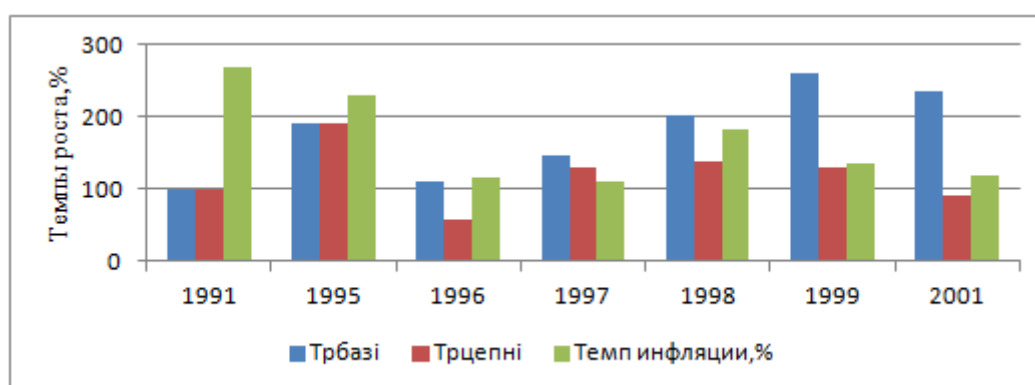


Рисунок 6 – Темпы роста скорректированных военных расходов РФ в 1991-2001 гг.

По данным, представленным на рис. 5, 6, можно сделать вывод: если в номинальном выражении военные расходы начали снижаться (базисные темпы роста) с 1998 года, то по реальным данным отмечен их рост до 1999 года. В то же время имеет место ежегодное снижение цепных темпов роста. В пик экономического и политического кризиса, связанного с суверенитетом бывших союзных республик, происходит существенное снижение военных расходов, как в номинальном, так и реальном исчислении.

В качестве факторов, позволяющих рассматривать период времени с 2002 по 2014 гг. как период экономической стабилизации, можно выделить:

- стабилизацию уровня инфляции;
- «потепление» отношений с Западными странами, отмена ряда санкций против бывшего СССР;
- наметившийся рост валового внутреннего продукта;
- утверждение новой оборонительной доктрины и усиление поддержки предприятий ОПК со стороны государства;
- разработку и утверждение долгосрочных программ вооружений.

Анализ влияния указанных факторов на военные расходы представлен на рис. 7, 8.

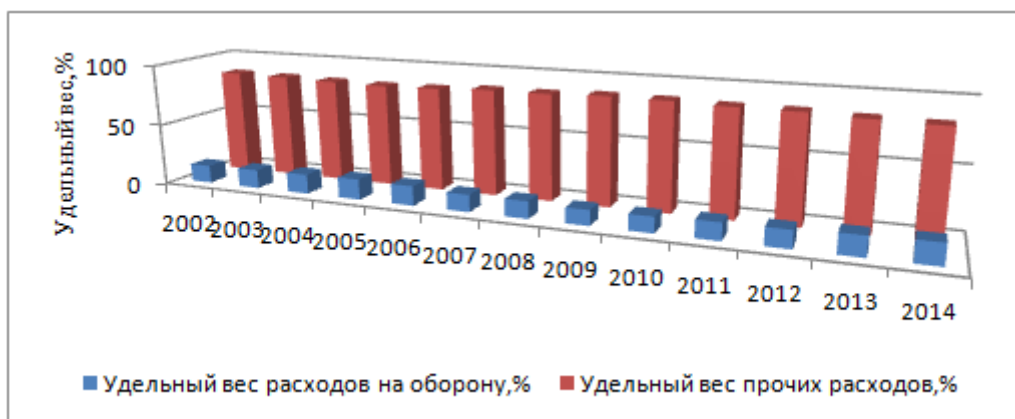


Рисунок 7 – Динамика доли военных расходов РФ в 2002-2014 гг.

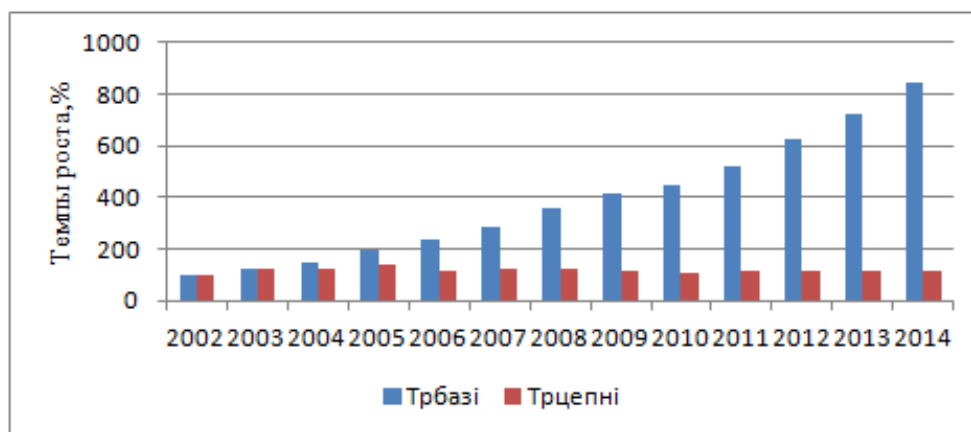


Рисунок 8 – Темпы роста военных расходов РФ в 2002-2014 гг.

Как видно из данных, представленных на рис. 7, 8, увеличение в абсолютном выражении военных расходов не приводит изменений их доли в структуре бюджета. Это означает, что военные расходы растут пропорционально экономическому росту. Чем сильнее и стабильнее экономика России, тем больше возможностей для увеличения военных расходов и, соответственно, укрепления оборонительного потенциала вооруженных сил.

Период времени, начиная с 2014 года по настоящее время, следует рассматривать в соответствии со следующими экономическими и политическими факторами:

- Рост национального патриотизма после победы на домашней Олимпиаде в Сочи;
- Обострение конфликта с Украиной вследствие присоединения Крыма и Севастополя к России;

- Разрыв производственных кооперационных связей вследствие ужесточения международных санкций в отношении России;
- Использование российских войск в локальных войнах;
- Повышение конкурентоспособности военной продукции РФ на мировых рынках;
- Снижение мировых цен на нефть.

Оценка влияния указанных факторов на военные расходы в указанный период показан на рис. 9, 10.



Рисунок 9 – Динамика доли военных расходов РФ в 2015-2019 гг.

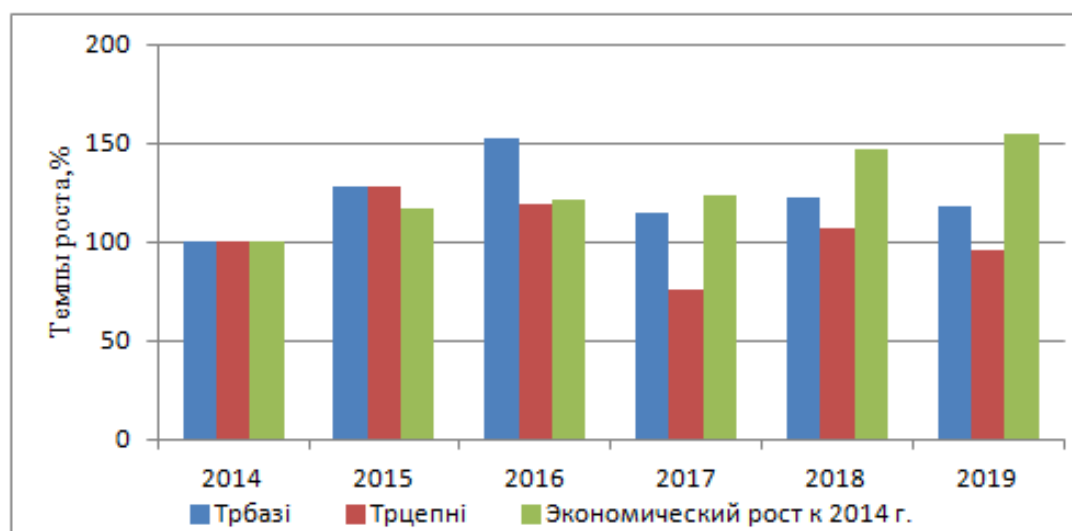


Рисунок 10 – Динамика военных расходов в сравнении с темпами экономического роста в 2014-2019 гг.

Как видно из данных, представленных на рис. 10, при замедлении темпов экономического роста в 2015-2016 гг. увеличиваются темпы роста военных

расходов и, наоборот, при увеличении экономического роста в 2017-2019 г происходит снижение темпов роста расходов на оборону.

Таким образом, по данным проведенного анализа можно сделать вывод, что политические факторы не всегда являются приоритетными в определении расходов, выделяемых на оборону. Это означает, что приоритет финансирования военных расходов с одной стороны увеличивает обороноспособность, а с другой стороны – дает толчок к развитию самой экономики России.

Литература

1. Государственные финансы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/efficiency/# (дата обращения: 23.09.2020).
2. Государственный бюджет СССР в 1940, 1946, 1950-1955 гг. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://istmat.info/node/18453> (дата обращения: 23.09.2020).
3. Инфляция в России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.grandars.ru/student/ekonomicheskaya-teoriya/inflyaciya-v-rossii.html>. (дата обращения: 23.09.2020).
4. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 23.09.2020).
5. Чернышева Г.Н. Статистика (теоретическая и социально-экономическая): учеб. пособие / Г. Н. Чернышева, Н. С. Шерстяных. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2012. – 176 с.

УДК 34.342

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И НАДЗОРА В СИСТЕМЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБОРОННОГО ЗАКАЗА

Ткаченко М. Т.

Чернышева Г. Н.
(научный руководитель)

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

В статье рассматриваются проблемы обеспечения контроля и надзора в системе государственного оборонного заказа. По данным выполненного исследования раскрываются основные причины нецелевого использования бюджетных средств, направляемых на финансирование государственного оборонного заказа. Предлагаются мероприятия по совершенствованию механизма контроля и надзора в системе государственного оборонного заказа.

Ключевые слова: бюджет, государственные закупки, государственный оборонный заказ, контроль и надзор, комплаенс-контроль.

В современных условиях национальная безопасность России может быть обеспечена только в результате развития оборонно-промышленного комплекса (ОПК).

Рыночные условия хозяйствования, в которых предприятия, входящие в ОПК, приобрели самостоятельность в финансово-хозяйственной деятельности, привели к противоречию интересов государства в области обеспечения национальной безопасности и целей деятельности ОПК. Поэтому бюджетные ресурсы, выделяемые на оборону через финансирование государственного оборонного заказа (ГОЗ) не защищены от всевозможных махинаций.

Для поддержания обороноспособности на высоком уровне государство должно выполнять одновременно несколько функций: с одной стороны быть организатором закупок, выделяя для этих целей достаточный объем финансовых ресурсов, а с другой, выступать гарантом стабильности экономических условий, предотвращающих коррупцию при реализации ГОЗ, за счет обеспечения надлежащего контроля и надзора.

Поэтому исследования, направленные на устранение потенциальных угроз срыва выполнения ГОЗ, нецелевого использования выделяемых средств из бюджета, поставки военной продукции, которая не соответствует принятым на уровне законодательства требованиям качества и тактико-техническим характеристикам, актуальны.

Такие условия достигаются созданием эффективной системы государственного контроля и надзора контроля в системе ГОЗ.

Как известно, финансирование ГОЗ осуществляется только из федерального бюджета, статьи которого имеют строгое целевое назначение. За нецелевое использование субъекты ГОЗ несут как административную, так и уголовную ответственность.

Главной целью контроля и надзора при реализации ГОЗ является обеспечение соблюдения норм финансового права по вопросам образования, использования и распределения финансовых средств между его участниками (субъектами ГОЗ).

Институциональной основой системы финансового контроля при реализации ГОЗ является система межведомственного контроля, главными ее участниками являются Минобороны, Банк России, Росфинмониторинг, ФАС и Счетная палата, институт уполномоченных банков [Алёшин, 2016; Лютер, 2016].

Важнейшими мерами в осуществлении контроля и надзора за использованием средств бюджета на выполнение ГОЗ являются [Омшанова, 2016]:

1. Механизм распознавания контрактов по выполнению ГОЗ;
2. Утверждение списка уполномоченных банков, обслуживающих финансовые потоки ГОЗ;
3. Ведение специальных отдельных счетов в уполномоченных банках;
4. Схема разделения бухгалтерского учета по операциям текущей финансово-хозяйственной деятельности и выполнения ГОЗ;
5. Механизм ценообразования в системе ГОЗ.

Как было указано выше, в основе контроля и надзора системы финансирования ГОЗ задействован институт уполномоченных банков и режим отдельных банковских счетов, которые используют головные исполнители и исполнители, что обеспечивает:

- надежность и прозрачность взаиморасчетов;
- защиту информации и контроль за целевым использованием бюджетных средств.

Прибыль, полученная при выполнении ГОЗ, перечисляется с применением отдельного счета и проводится уполномоченным банком в размере, который согласовывают при заключении контракта, а также после исполнения контракта при наличии необходимых подтверждающих документов [Самолысов, 2016; Писенко, 2016].

Система контроля и надзора в процессе заключения и выполнения контрактов ГОЗ включает процедуры, представленные на рис. 1.

Баланс интересов между бюджетом и участниками ГОЗ реализуется через механизм ценообразования.

Элементы финансового контроля в ценообразовании ГОЗ представлены на рис. 2.

Проведенный анализ системы финансового контроля в сфере управления государственными закупками вооружения и военной технике в Министерстве обороны РФ показал, что в настоящее время развитие оборонно-промышленного комплекса России происходит за счет увеличения объемов ГОЗ (рис. 3).



Рисунок 1 – Процедуры контроля и надзора в системе ГОЗ

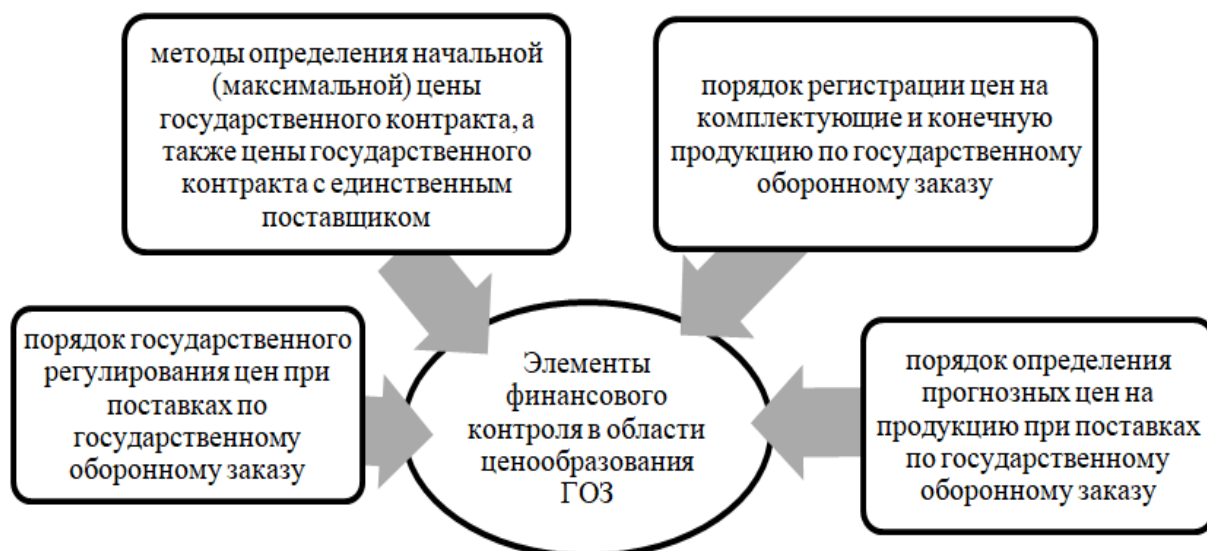


Рисунок 2 – Элементы финансового контроля ценообразования ГОЗ

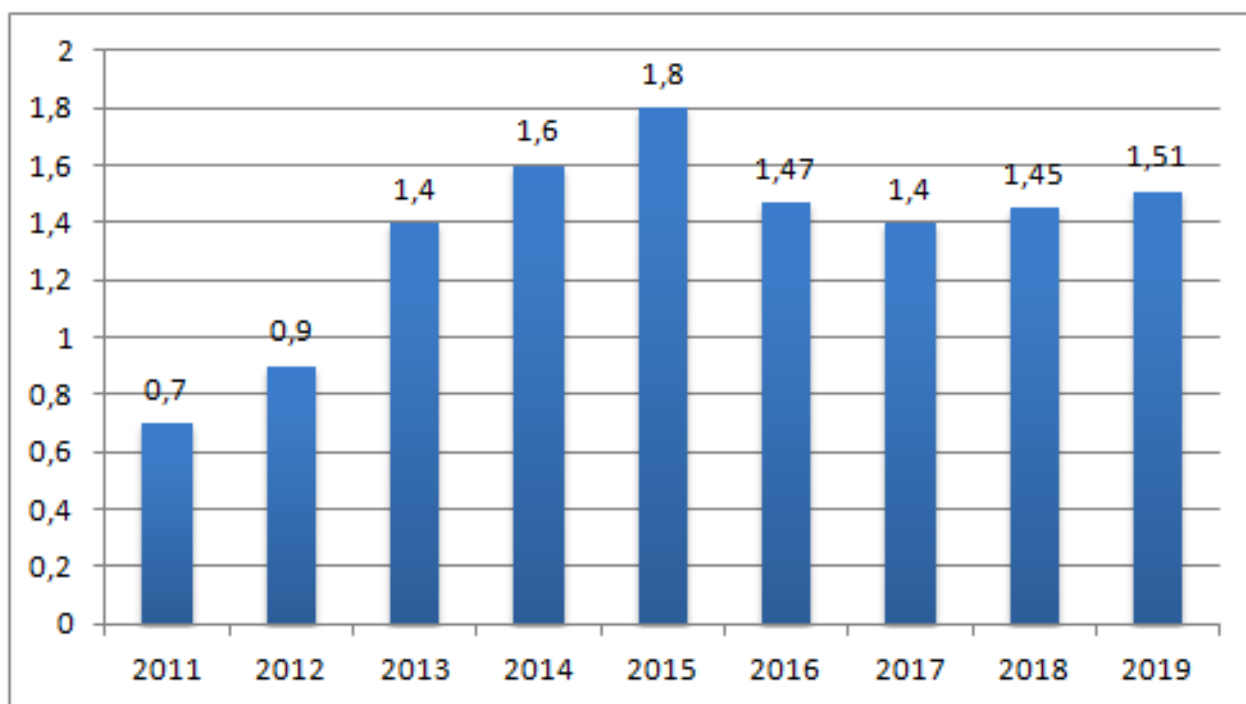


Рисунок 3 – Динамика объемов ГОЗ России, трлн. руб ^[<https://mil.ru>]

Рост объемов ГОЗ, естественно, приводит к увеличению проблем финансового контроля надзора в системе ГОЗ.

В 2020-2021 годах проблемы контроля и надзора усугубляются в связи с тем, что государственный оборонный заказ будет реализовываться в крайне сложных финансовых, организационных и производственных условиях, которые создала пандемия.

Выполненный анализ выполнения контрактов и осуществления контроля и надзора ГОЗ в исследуемый период времени показал наличие проблем:

1. Наличие антиконкурентных соглашений.

За исследуемый период (2011-2019гг.) выявлено множество фактов заключения и осуществления антиконкурентных соглашений, связанных с соглашениями между хозяйствующими субъектами-конкурентами, являющимися субъектами контрактных отношений при выполнении государственного оборонного заказа.

Так, по материалам проверок ФАС [<https://fas.gov.ru/>], только в 2017 г. утверждено 16 решений по делам о заключении антиконкурентных соглашений. Только в этом году, в отношении лиц, которые принимали участие в запрещенных соглашениях, вынесено более 90 постановлений по делам об административных нарушениях и наложено штрафов на общую сумму более 150 млн рублей.

2. Умышленное завышение цен на полуфабрикаты и комплектующие изделия.

Как показывают контрольные мероприятия Минобороны, участники ГОЗ не в полной мере соблюдают требования по кооперации в ГОЗ, утвержденные в редакции ФЗ 275-ФЗ от 1 сентября 2015 года.

В практике проверок, осуществляемых Минобороны, уже имели место контракты с отдельными компаниями, которые в рамках кооперации по ГОЗ завышали стоимость поставки комплектующих в 3-4 раза. Основной причиной такого завышения цен была признана регистрация фирм однодневок, создаваемых специально для вывода денежных средств.

3. Невозможность определения места происхождения отдельных видов комплектующих для обеспечения выполнения ГОЗ.

Министерство обороны в процессе проверок выявило случаи поставки зарубежной продукции, помеченной как «Сделано в России»

Как известно, на сегодня критерием определения страны происхождения товара, согласно «Соглашению о правилах определения страны происхождения товаров в СНГ», заключенному в Ялте 20.11.2009 г., является адвалорная доля.

Под адвалорной долей понимается доля отечественных предприятий в добавленной стоимости продукции. Основная причина ошибок в определении адвалорной доли поставляемой по ГОЗ продукции заключается в недостаточной координации в области финансового контроля в действиях различных служб таких как: Минобороны, ФАС, Таможенной службы и Федеральной налоговой службы.

Это обстоятельство может создавать условия, когда отдельные поставщики выдают иностранные товары за российские с целью получения определенных преимуществ на аукционах при закупках в ГОЗ вследствие снижения таможенных платежей.

Как было указано выше, в связи с ростом объемов ГОЗ, и, следовательно, увеличением объемов и разнообразия импортируемых товаров становится проще скрыть их истинное происхождение. Это в конечном итоге, приведет к усложнению работы ведомств контроля и надзора.

Проведенное авторами исследование позволило установить, что в настоящее время в РФ имеют место мероприятия по совершенствованию

контроля и надзора в системе ГОЗ, которые позволяют устранить названные выше проблемы, среди которых можно выделить следующие:

- создание единого идентификационного центра продукции, поставляемой по ГОЗ. Данный центр позволяет внедрить промышленную маркировку комплектующих изделий для ГОЗ;

- принятие в 2017 г. постановления Правительства РФ № 1465 о порядке регулирования цен на продукцию, поставляемую по ГОЗ. Данное постановление позволило увеличить горизонт планирования цен серийной продукции до 6 лет. При этом с целью стимулирования снижения затрат продукции, поставляемой по ГОЗ, вся экономия, полученная за счет модернизации и совершенствования производства, остается в распоряжении предприятия.

Основной путь совершенствования контроля и надзора в системе ГОЗ, по мнению авторов, должен заключаться не в выявлении и устранении финансовых нарушений, а в их предупреждении.

В связи с этим, для совершенствования контроля и надзора в системе ГОЗ предлагается внедрить механизм комплаенс-контроля.

Комплаенс-контроль – это универсальная система выявления рисков и применения санкций, которая была принята в зарубежной практике государственными органами на основе анализа последствий отклонения от норм законодательства в банковском секторе.

В комплаенс-контроле осуществляется управление следующими типами рисков:

- Нарушение принципов в области нормативно-законодательных актов;
- Нарушения при финансовых манипуляциях;
- Угрозы надежности партнеров вследствие их финансовой несостоятельности;
- Возможные хищения и другие противоправные действия;
- Непрофессионализм и некомпетентность сотрудников;
- Служебные злоупотребления и коррупционные действия.

Следует отметить, что эксперты обсуждают возможности использования комплаенс-контроля уже 5-6 лет. На основании данных обсуждений в 2013 году было принято решение о включении комплаенс-контроля в Стратегию развития конкуренции и антимонопольного регулирования в России для гражданских отраслей.

На сегодняшний день внедрение комплаенс-контроля рассматривается как один из важнейших механизмов для предотвращения нарушений предприятиями ОПК законодательства в сфере ГОЗ [<https://fas.gov.ru/>; Смуров, 2017].

Использование комплаенс-контроля в деятельности Минобороны позволит обеспечить не только стимулирование инновационного развития, но и предпринимательские инициативы.

Рекомендуемая система комплаенс-контроля позволяет устранить 4 вида угроз в сфере ГОЗ:

- включение в себестоимость продукции, поставляемой по ГОЗ, затрат, не связанных с ее производством;
- поставки продукции, необходимой для выполнения ГОЗ, по ценам, выше среднерыночных цен;
- использование денежных средств, полученных по государственному контракту, на цели, не связанные с исполнением ГОЗ;
- неоправданный отказ от заключения контракта со стороны головного исполнителя или исполнителя ГОЗ.

По нашему мнению, для внедрения комплаенс-контроля в сфере ГОЗ целесообразно:

1. Обеспечить контроль за соблюдением требований нормативно-законодательных актов, а также процедур, предусмотренных внутренними документами.

2. Предусмотреть внутренний аудит механизмов рассмотрения споров и обжалования решений руководителей.

Внедрение Министерством обороны комплаенс-контроля позволит выстроить систему предотвращающих мер по искоренению нарушений, повысит контрактную дисциплину и будет способствовать снижению затрат выполнения ГОЗ.

Литература

1. Алёшин К. Н. Контроль в сфере государственного оборонного заказа: соотношение и конкуренция норм / К. Н. Алёшин // Право и экономика, 2016. – № 5 (339). – С. 46-51.

2. Лютер Е. В. Регулирование отношений между заказчиком и исполнителем государственного оборонного заказа / Е. В. Лютер, Ю. В. Гусарова, М. М. Старкова, А. С. Ворожейкин // Эффективное антикризисное управление, 2016. – № 5 (98). – С. 55.

3. Омшанова Э. А. Основные элементы системы финансового контроля при реализации государственного оборонного заказа / Э. А. Омшанова // Экономика и социум, 2016. – № 10 (29). – С. 458

4. Официальный сайт Министерства обороны России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mil.ru/> (дата обращения: 10.09.2020 г.)

5. Официальный сайт ФАС России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://fas.gov.ru/> (дата обращения: 10.09.2020)

6. Писенко К. А. Финансовый контроль в сфере государственного оборонного заказа как фактор обеспечения финансовой безопасности / К. А. Писенко, П. В. Славникий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Юридические науки, 2016. – № 4. – С. 152.

7. Самолысов П. В. Проверки соблюдения требований в сфере государственного оборонного заказа / П. В. Самолысов // Право и экономика, 2016. – № 6 (340). – С. 48.

8. Смуров А. М. Проблемные вопросы реализации государственного оборонного заказа и возможные способы их решения / А. М. Смуров // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета, 2017. – № 4 (106). – С. 29.

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АЭРОПОРТОВОЙ СЕТИ

Харитонов Е. Н.

Немчинов О. А., канд. экон. наук
(научный руководитель)

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
(г. Самара)*

В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты развития национальной аэропортовой сети, изучены особенности данной концепции. Приведен перечень рекомендаций для создания данной авиастратегии, изучен опыт применения на территории иностранного государства. На примере Сибирского федерального округа проведен анализ аэропортовой деятельности, рассмотрены основные направления перевозок, определен основной аэропорт региона.

Ключевые слова: авиационная деятельность, региональные перевозки, узловой аэропорт, национальная опорная аэропортовая сеть.

Для человека транспорт – один из наиболее важных аспектов жизнеобеспечения, поскольку каждый из нас является участником непрерывного транспортного процесса. Услуги общественного транспорта, такси, командировки в другие города, поездки за границу – все это составляет ежедневное расписание практически любого жителя планеты. Что касается авиации, данная отрасль развивается с невероятной скоростью.

В настоящее время вопрос обеспечения населения воздушными перевозками становится все более актуальным. Популярность воздушного транспорта возрастает, население стремится к современным решениям проблем быстрого передвижения по обширным территориям страны и за ее пределами. В связи с этим, государство начало активные преобразования в сфере транспорта. Аэропорты, включая аэродромы, наряду с авиационными компаниями, единой системой организации воздушного движения и пользователями услуг воздушного транспорта являются ключевыми элементами воздушно-транспортной системы страны. На данный момент основным документом, на который ориентируется Правительство при реализации политики улучшения транспортной инфраструктуры страны – государственная программа «Развитие транспортной системы» [Постановление Правительства РФ от 20.12.2017 N 1596]. Согласно ей, государство содействует повышению доступности воздушных перевозок населения, в том числе в части развития региональных и внутрирегиональных перевозок. Данная программа нацелена на улучшение качества услуг воздушного транспорта. Одно из направлений таких улучшений – развитие национальной опорной аэропортовой сети.

Аэропорты национальной опорной аэропортовой сети – это перечень аэропортов, обеспечивающих функциональную эффективность аэропортовой сети за счет системы узловых аэропортов, связность аэропортовой сети – стратегическое единство и неразрывность авиационных связей на всей территории страны, с учетом выполнения требований безопасности полетов, выполнение задач обслуживания городов с большим количеством проживающего населения, основных городов-курортов и центров федеральных округов Российской Федерации. Данный термин включает аэропорты федерального значения, аэропорты, необходимые для связности сети и запасные аэродромы Российской Федерации [Концепция развития аэродромной (аэропортовой) сети].

Создавая такую сеть аэропортов в Российской Федерации, необходимо изучить специфику отрасли и разработать ряд требований для реализации данного проекта. Для этого, с целью поиска рационального стратегического решения, следует провести анализ опыта, касающегося данного вопроса, иностранных государств. К примеру, В США был создан специальный документ – Национальный план объединенных аэропортовых сетей 2011-2015 годов [National Plan of Integrated Airport Systems (NPIAS) (2011-2015)]. Согласно ему, определяются следующие рекомендации к аэропортам, входящим в состав национальной сети:

- должны быть безопасными и эффективными, располагаться в оптимальных местах, развиваться и функционировать в соответствии с определенными стандартами;

- должны функционировать эффективно как с точки зрения пользователей, так и с точки зрения органов исполнительной власти, в основном существуя за счет сборов с пользователей и накладывая минимальное бремя на муниципальные, региональные и федеральные власти;

- должны быть гибкими и легко расширяемыми, способными удовлетворять возрастающий спрос, обслуживать новые типы воздушных судов и обеспечивать конкурентоспособный уровень сервиса;

- должны функционировать устойчиво и стабильно, гарантируя долгосрочное оказание услуг по обслуживанию пользователей;

- должны быть совместимы с проживающими рядом с ними сообществами, поддерживая баланс между потребностями авиации и требованиями резидентов, проживающих в прилегающих к аэропорту районах;

- должны развиваться с учетом вносимых улучшений в систему управления воздушным движением;

- должны обладать необходимым сервисом для приема и обслуживания воздушных судов, пассажиров, грузов и почты.

В некоторых экономически развитых странах сформулирован еще один принцип для федеральной аэропортовой сети, применяемый в основном при принятии решений о субсидировании развития аэропортов: инвестиции в федеральную аэропортовую сеть должны иметь общий полезный экономический эффект. На рисунке 1 представлена схема аэропортовой сети в общем виде.

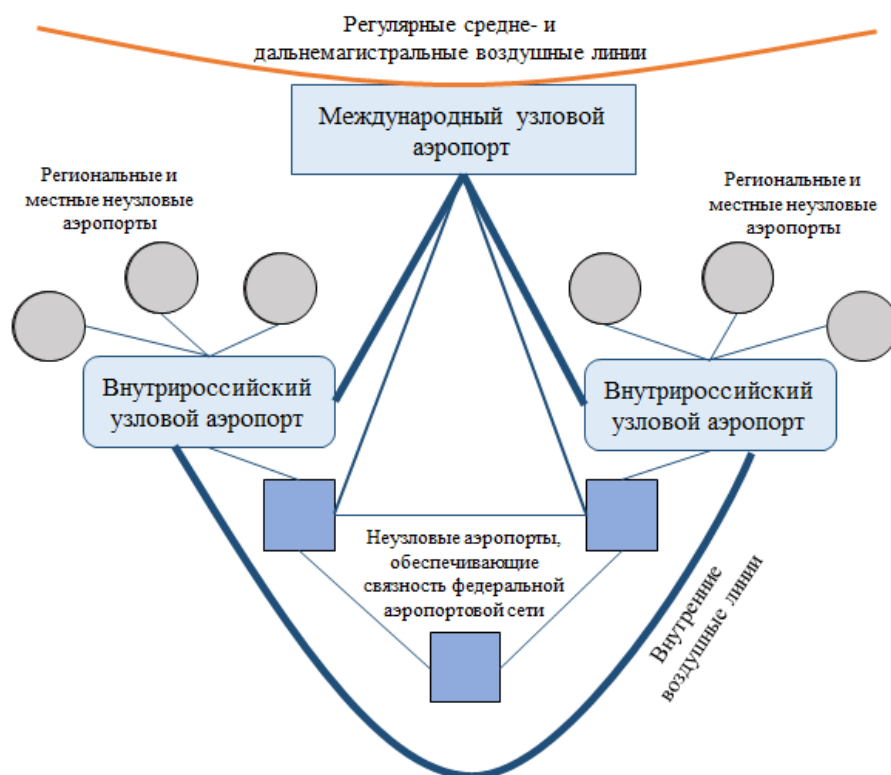


Рисунок 1 – Функциональная схема построения федеральной аэропортовой сети в общем виде

Для детального изучения данной темы необходимо выбрать объект исследования. Аэропорт национальной аэропортовой сети – наиболее яркий представитель отечественной авиационной деятельности. Такое авиапредприятие должно быть экономически эффективным для экономики страны и являться неким центром региона, в котором находится.

В данном исследовании был выбран Сибирский федеральный округ, включающий в себя несколько республик и областей и расположенный в географическом центре страны, имея отношение к двум экономическим районам – Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому, а так же между развитой Европейской частью страны и Дальним Востоком. На юге расположена государственная граница с Казахстаном, Монголией и Китаем. Данный регион особенно важен для экономики страны вследствие географического расположения, соседства с иностранными государствами и большим количеством полезных ископаемых.

В округе находятся аэропорты разного масштаба. В таблице 1 представлены авиапредприятия, города, в которых они расположены, их класс и пассажиропоток за 2019 год по данным сайта Росавиации [<https://favt.gov.ru/>].

Наибольший пассажиропоток имеет аэропорт города Новосибирска «Толмачево». Один из наиболее интенсивно развивающихся аэропортов федерального значения, крупнейший за Уралом транзитный узел на важнейших маршрутах, соединяющих Европу и Азию. Географическое положение новосибирского аэропорта позволяет обслуживать перспективные кроссполярные маршруты, соединяющие Северную Америку и Азию.

Местоположение довольно выгодно – аэропорт расположен в 17 км к западу от центра Новосибирска – административного центра Новосибирской области и Сибирского федерального округа. Регион, где располагается аэропорт, отличается высоким уровнем экономического развития и максимальной для азиатской части России плотностью населения – в радиусе 500 км от аэропорта Толмачево проживает около 9 млн. человек [<https://tolmachevo.ru>].

Таблица 1 – Аэропорты Сибирского федерального округа

Аэропорт	Город	Класс	Пассажиропоток (Данные Росавиации за 2019 год)
Толмачево	Новосибирск	А	6571396
Емельяново	Красноярск	А	2481914
Иркутск	Иркутск	Б	2433794
Центральный	Омск	В	1348505
Алыкель	Норильск	А	732754
Кызыл	Кызыл	В	519743
Богашево	Томск	В	514501
Кемерово	Кемерово	Б	512916
Кадала	Чита	В	455350
Спиченково	Новокузнецк	В	256150
Барнаул	Барнаул	В	64675
Стрежевой	Стрежевой	В	36777
Абакан	Абакан	Б	20972
Хатанга	Хатанга	В	15337
Горно-Алтайск	Горно-Алтайск	В	10238
Мухино	Улан-Удэ	В	0
Иркутск-2	Иркутск-2	В	0
Игарка	Игарка	В	0
Енисейск	Енисейск	В	0
Братск	Братск	Б	0

Авиапредприятие работает с крупными перевозчиками по причине многозадачности аэропорта. Через Толмачево выполняют перелеты не только пассажирские («Аэрофлот», «Сибирь», «Air Astana» и т.п.) авиакомпании, но и крупные международные грузоперевозчики, такие как «Cargolux» и «Lufthansa Cargo». Что касается российских авиакомпаний, то это крупные игроки авиатранспортного рынка и небольшие местные перевозчики. Стоит отметить, что в данном аэропорту базируется одна из крупнейших авиакомпаний Российской Федерации – «Сибирь». Общее количество работающих в аэропорту авиакомпаний – не менее 25. Возможно изменение числа авиакомпаний вследствие увеличения привлекательности аэропорта и региона в целом. В

период мировой пандемии данный перевозчик некоторое время занимал лидирующую позицию среди авиакомпаний страны.

При анализе расписания аэропорта «Толмачево», установлено, что из Новосибирска полеты совершаются в 15 городов Сибирского федерального округа [https://tolmachevo.ru]. Причина рассмотрения перевозок именно внутри Сибирского федерального округа проста: регион расположен на достаточно большой территории, затрагивая различные природные зоны. На такой территории авиатранспорт имеет высокое значение. Для этого важно выбрать аэропорт для подвоза пассажиров для дальнейшего передвижения по стране и вне ее. Рассматривая расписание полетов, можно увидеть, что по федеральному округу основным перевозчиком является авиакомпания «Сибирь» – авиапредприятие, базирующееся в аэропорту Новосибирска. При дальнейшем исследовании планируется провести анализ, эффективен ли данный аэропорт в качестве опорного авиапредприятия национальной аэропортовой сети данного региона, а впоследствии – и Российской Федерации. На рисунке 2 представлены направления воздушных линий из «Толмачево».



Рисунок 2 – Воздушные линии, соединяющие аэропорт «Толмачево» с другими городами Сибирского федерального округа

Аэропорт «Толмачево» может стать центром аэропортовой сети Сибирского федерального округа по следующим причинам:

1) Большой пассажиропоток через данный город вследствие удачного расположения Новосибирска внутри региона – город располагается вблизи соседнего Уральского федерального округа, Казахстана и Монголии;

2) Данный аэропорт входит в десятку крупнейших аэропортов России по пассажиропотоку;

3) В аэропорту «Толмачево» базируется авиакомпания «Сибирь» – крупнейший авиаперевозчик Сибирского федерального округа. Данный авиаперевозчик совершает полеты по всей России, и, в частности, является основным перевозчиком, который совершает полеты по Сибири.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности внедрения стратегии национальной опорной аэропортовой сети на базе развития регионального воздушного сообщения. При оптимизации внутрирегиональных перевозок постепенно сформируются базовые части всероссийской сети аэропортов, которые, при объединении и грамотном управлении, составят такую авиатранспортную отрасль, которая будет эффективна как в отношении экономики, так и в удовлетворении пользователей авиатранспортных услуг.

Литература

1. Концепция развития аэродромной (аэропортовой) сети российской федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс] URL: <https://pandia.ru/text/77/191/17688.php> (дата обращения: 16.09.2020 г.)

2. Официальный сайт Международного аэропорта «Толмачево» [Электронный ресурс] URL: <https://tolmachevo.ru> (дата обращения: 21.09.2020 г.)

3. Постановление Правительства РФ от 20.12.2017 N 1596 (ред. от 28.09.2020) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»» [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286331/42255d75ad7c2b8a626131809912a148408038e9/ (дата обращения: 12.09.2020 г.)

4. Федеральное агентство воздушного транспорта Российской Федерации (Росавиация) [Электронный ресурс] URL: <https://favt.gov.ru/> (дата обращения: 21.09.2020 г.)

5. National Plan of Integrated Airport Systems (NPIAS) (2011-2015) [Электронный ресурс] URL: https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/npias/current/historical/media/2011/npias_2011_narrative.pdf (дата обращения: 14.09.2020 г.)

УДК 656

ПРОГРАММЫ ЛОЯЛЬНОСТИ В АВИАЦИИ

Чернецкая Д. М.

Вишнякова А. А., канд. соц. наук
(научный руководитель)

Иркутский филиал МГТУ ГА
(г. Иркутск)

В статье представлен обзорный материал по программам премирования авиапассажиров, подчеркнуто, что программы поддержки продаж эффективно работают не только в розничной торговле, но и в сфере авиабизнеса.

Ключевые слова: лояльность, вознаграждение, программы лояльности, бонусные мили, авиакомпания, клиент.

Термин «лояльность» появился в российском словаре относительно недавно и уже стал распространенным и широко употребляемым в научной, социальной и профессиональной среде. Лояльность (от французского «*loyal*») – верность, преданное отношение чему-либо (источнику ценности).

Как показывает практика, для компании удержать старых клиентов обходится гораздо дешевле, чем привлечь новых. Чтобы каждый новый клиент захотел приобрести продукцию этой компании снова и снова и стал постоянным клиентом, фирмам приходится применять различные стратегии, направленные на удержание существующих клиентов, для развития повторных продаж этим клиентам в будущем. Одним из таких средств являются программы лояльности [Плотникова, 2006].

Сегодня, основная роль предложений для клиентов на рынке в рамках программ лояльности сводится к их удержанию, поэтому наиболее распространены программы с материальными вознаграждениями, а именно:

- программы лояльности, предлагающие накопительную систему скидок;
- программы лояльности с предоставлением моментальной скидки;
- программы лояльности, использующие баллы.

Любая из программ лояльности носит поведенческий аспект (краткосрочный характер программы) и отношенческий аспект (долгосрочная перспектива программы). Следует отметить, что практически любая программа лояльности, которая поможет потребителям сэкономить, то есть уменьшить свои расходы, будет востребована.

Что касается рынка авиаперевозок, то он является высококонкурентным, вследствие чего, программы лояльности, внедряемые авиаперевозчиками, нацелены не на увеличение общего пассажиропотока, а на премирование постоянных клиентов, создание условий, способных переманить пассажира у конкурента.

На сегодняшний день программы лояльности большинства авиакомпаний мира являются бонусными программами, т.е. авиакомпании привлекают пассажиров стать их постоянными клиентами, копить баллы за покупку авиабилетов и совершение полетов, а потом использовать их на разные бонусы в виде улучшения класса обслуживания или приобретения новых авиабилетов.

Программы вознаграждений обычно включают бонусные мили, которые предоставляются клиентам, когда они соответствуют условиям программы. Они включают в себя полет в компании, совершение покупок на борту, оплата билетов по определенной дебетовой/кредитной карте и приобретение дополнительных опций во время полета, таких как дополнительный багаж или услуги на борту. И если многие из клиентов авиационной компании пользуются системами лояльности при удобном случае, то некоторые становятся ярыми охотниками за баллами, уделяя их накоплению больше времени, чем выбору самого путешествия или подбору авиабилетов.

Клиенты также могут получить бонусные мили через третьих лиц, таких как банки или интернет-магазины. Тем не менее частые поездки по-прежнему являются более эффективным способом получения бонусных миль по сравнению с другими способами. Программы лояльности используются так часто из-за простоты их реализации и низкой стоимости для компании. Клиенты также получают от них выгоду, поскольку чувствуют, что их ценят и о них заботятся, получая бонусные мили. Бесплатные рейсы повышают лояльность клиентов, что увеличивает прибыль компаний в будущем.

Мильная программа используется как система поощрения пассажиров, которые часто летают. Алгоритм программы прост: чем больше пассажир летает той или иной авиакомпанией, тем больше он получает бонусных очков («миль») на свой индивидуальный счет.

Для постоянных клиентов авиалиний программа лояльности – это отличная возможность сэкономить на перелетах и получить дополнительную пользу.

Программа лояльности выступает стимулом для клиента пользоваться услугами определенного авиаперевозчика. Авиакомпания со своей стороны предлагает участнику программы определенные возможности и выгоды: премиальные билеты, специальные акции и предложения и многое другое.

Программы лояльности авиакомпаний призваны помочь компаниям в достижении двух основных целей, которые направлены на увеличение объема продаж и повышение удовлетворенности клиентов.

Это даёт основание говорить о том, что программы лояльности особенно выгодны для тех, кто летает чаще. Любой человек может воспользоваться ими, так как они являются бесплатными для клиентов авиакомпании. Бонусные мили доступны всем клиентам, независимо от того, как часто они путешествуют или сколько они тратят на полеты в компании.

Первая в истории программа поощрения часто летающих пассажиров была разработана в 1972 году компанией Western Direct Marketing для United Airlines, которая поощряла клиентов подарками и сувенирами.

Авиакомпания Texas International Airlines в 1979 создала первую бонусную программу, которая вела учёт миль, налётанных её участниками. В том же году авиакомпания American Airlines начала работать над программой скидок для часто летающих пассажиров, которая превратилась в бонусную программу AAdvantage, запущенную 1 мая 1981 года и ставшую первой бонусной программой, предоставившей возможность обменивать накопленные на счету «мили» на билеты по фиксированной «цене». Недели позже United Airlines запустила аналогичную программу Mileage Plus. В том же году возникла программа SkyMiles авиакомпании Delta Air Lines, а годом позже – Executive Club авиакомпании British Airways.

Первая Российская программа лояльности в сфере гражданских авиаперевозок была запущена авиакомпанией «Трансаэро» в 1995 году. Затем в 1999 году «Аэрофлот – российские авиалинии» запустил программу «Аэрофлот-Бонус». В 2001 году появились программа «Крылья» у «Уральских авиалиний», а затем «Статус» у «ЮТэйр».

Первый опыт поощрения постоянных пассажиров в некоторых авиакомпаниях основывался на очень примитивных методах. Например, если клиент авиакомпании «Энкор» предоставлял определённое количество использованных авиабилетов, то он мог получить различные скидки на очередной авиабилет.

Практически у всех авиакомпаний, осуществляющих международные перевозки, имеются программы лояльности. Авиакомпании могут договариваться между собой, предоставляя участникам своих бонусных программ возможность набирать мили на рейсах друг друга и тратить мили на полёты на их рейсах. Эта практика является обязательной для членов одного авиационного альянса.

Многие программы имеют и партнёров в других сферах, за пользование услугами, которых можно получить начисления на счёт участника. Чаще всего это гостиничные сети, фирмы по прокату автомобилей и банки, выпускающие кредитные карты. Мили можно получать также за покупки в определённых магазинах, подписку на газеты и журналы, пользование услугами операторов связи или покупку страховых полисов [<https://www.s7.ru>].

Участник программы может обменять собранные в достаточном количестве мили на бесплатный перелёт или повышение в классе обслуживания. Можно также воспользоваться услугами партнёров – мили можно обменять на проживание в гостинице, аренду автомобиля и даже просто на товары. Но учитывая соотношение денежной стоимости и расхода миль авиабилеты остаются наиболее выгодными.

У клиентов, которые совершают большое количество перелетов, или на счет которых в течение года поступает определенное количество миль, имеется возможность получить дополнительные преимущества в качестве элитного уровня: «серебряный», «золотой» и «платиновый».

В программе «Аэрофлот Бонус» – «серебряному» уровню соответствует порог в 25 тысяч миль, «золотому» – 50 тысяч миль, «платиновому» – 125 тысяч миль, во Flying Blue он требует набора 75 тысяч миль для участника. Наличие установленного статуса гарантирует участникам бонусной программы премиум-обслуживание в аэропорту, включая доступ в специальные комфортабельные залы ожидания, даже если они путешествуют в экономическом классе, приоритет в списке на посадку, дополнительное место багажа и его приоритетное обслуживание, начисление большего количества миль за полёты, трансфер из аэропорта и проживание в отеле. Кроме того, многие программы выдают своим элитным участникам сертификаты на повышение класса обслуживания, а также продлевают срок действия миль [Плотникова, 2006].

Так как в общих условиях продолжительность действия миль ограничена, то их необходимо обменять на премию в течение двух-трёх лет после зачисления на счет, согласно условиям действия программы вознаграждений. Иногда срок действия миль определяется наличием миль или баллов на счету. Мили «Аэрофлот Бонус» имеют срок действия в течение двух календарных лет после года, в котором были произведены начисления за полёт или пользование банковскими картами.

Программа лояльности авиакомпании, с точки зрения маркетинга, является важным инструментом «привязки» клиента к компании. Она заметно расширяет возможности по привлечению пассажиров. Например, на практике используется повышение начисления миль за конкретное направление или даже определённый рейс, или наоборот, «мильные распродажи», когда премиальные билеты в период низкого спроса можно получить за меньшее количество миль по сравнению со стандартным.

Сущность вышеизложенного сводится к тому, что бонусные программы для часто летающих пассажиров предполагают значительные преимущества как для клиентов, так и для авиакомпаний. Небольшая цена бонусных миль позволяет компаниям перенаправлять накопленные средства на другие виды коммерческой деятельности, такие как расширение доступных направлений или маркетинговые кампании.

Одним из ключевых аспектов в успешной реализации бонусных программ является помощь компании с достаточно высоким уровнем развития, который способствует разработке индивидуальных программ вознаграждений на основе сбора и анализа достоверных данных.

Глобальная пандемия коронавируса и последующий экономический спад обострили проблемы, с которыми авиакомпании сталкиваются в процессе привлечения и удержания клиентов. Поэтому программа лояльности может стать одним из инструментов, который сможет помочь компаниям мотивировать покупателей возвращаться из других отраслей и тем самым ускорить восстановление финансовых показателей. Но, чтобы она сработала, необходимо учитывать изменившиеся тренды и действовать в ногу со временем. Доверие клиентов будет расти, если они будут чувствовать к себе особенное отношение.

Так, например, в рамках программы лояльности Mileage Plan Alaska Airlines создали специальный клуб для жителей Аляски Club49. Все участники клуба могут получить особые преимущества, включающие два бесплатных места для багажа и специальную скидку 30% на билеты. Так компания выразила признательность и благодарность жителям своего родного региона.

Также одним из факторов эффективности работы современных программ лояльности является продажа миль партнёрам, которые затем «выдают» их своим клиентам и могут использовать их в качестве своего маркетингового инструмента. Тем самым они обеспечивают заметную прибыль для авиакомпании. Наиболее часто в роли такого партнёра выступают банки, которые предлагают клиентам мили в награду за покупки, сделанные при помощи их кредитной или дебетовой карты. Авиакомпания JetBlue и банк Barclays предлагают специальную кредитную карту для тех, кто копит мили. За покупки у JetBlue начисляется 6 бонусов TrueBlue, за обычные – только один бонус. Больше баллов можно получить за определенные действия: например, 40 000 бонусов подарят клиентам, которые потратят \$ 1 000 в первые 90 дней. Кроме того, владельцы карт могут обменивать мили на билеты в любые даты – даже в праздники.

Следует добавить, что оценка эффективности программы лояльности является достаточно сложной задачей. В настоящее время, когда пандемия

COVID-19 нарушила международное воздушное сообщение, отрезав бизнес от клиентов, сорвав туристические поездки и оказав серьезное негативное воздействие на уязвимые группы населения, в условиях падения реальных доходов населения, замедления роста оборота торговли и усиления конкуренции одним из главных направлений становится работа над удержанием постоянных клиентов и привлечением новых.

Авиакомпании должны сконцентрировать свое внимание на эффективной реализации программ лояльности, т.е. этот показатель должен быть измерен:

- эффективность от внедрения программ лояльности должна оцениваться по степени и типу изменения поведения клиента (разработка шкал и методов оценки достижения целей программ лояльности);

- должны сравниваться финансовые показатели компании до и после внедрения программы лояльности;

- измерители должны быть не только количественными, но и качественными, т.е. оцениваться должны не только финансовые показатели, но и показатели уровня лояльности, как в поведенческом аспекте, так и в отношенческом.

В целом, реализация программ лояльности выгодна авиакомпаниям, поскольку они не требуют трат при запуске. Также это позволит авиакомпаниям сократить ежедневные расходы, так как все вознаграждения для клиентов будут предоставлены в будущем.

Любая авиакомпания, которая хочет процветать, концентрирует свои усилия на том, чтобы клиенты чаще летали с ней, и бонусные мили являются решающими для этого процесса. Когда клиенты понимают, что их ежедневные рейсы потенциально могут принести им бесплатный транспорт в будущем, они с большей вероятностью полетят с этой конкретной компанией, даже если у нее более высокие цены на билеты. Таким образом, авиакомпания, которая правильно использует бонусные мили, может привлечь больше постоянных клиентов по низкой цене. В зависимости от того, как будет проходить восстановление сектора авиабизнеса, потребуется дополнительный анализ действующих программ лояльности, чтобы получить больше данных о результатах их работы на предмет возможных корректировок действующих условий в будущем.

Литература

1. *Бутчер С.* Программы лояльности и клубы постоянных клиентов / Стефан Бутчер; пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 271 с.

2. Официальный сайт авиакомпании «S7 Airlines». S7 Priority. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.s7.ru> (дата обращения: 28.11.2020).

3. Официальный сайт авиакомпании «Аэрофлот-Российские авиалинии». Аэрофлот Бонус. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.aeroflot.ru/ru-ru/afl_bonus (дата обращения: 28.11.2020).

4. *Плотникова Е. А.* Программа лояльности – дань моде или эффективный маркетинговый инструмент / Е. А. Плотникова, З. В. Куликова // Маркетинговые коммуникации. – 2006. – Т.6. – С. 326-334.

Именной указатель

А

Агаев Р. Н.23

Антипов В. Н.78

Б

Баскаков М. Ю.78

Бехлер А. Е.126

Бодикова Т. Н.126

Бычкин В. М.78

В

Вишнякова А. А.164, 196

Владельщиков В. В.158

Володягин А. В.131

Волосов Е. Н.170

Вострецов Д. В.72

Г

Галков А. В.6

Герлиц А. В.164

Головко Е. В.6

Гончарук П. В.158

Д

Диль В. Ф.103

Дольников А. А.66

Е

Евдокимов Д. В.137

Елизаров А. В.10

Елизарьев А. Н.49

Емельянов В. Е.137, 142, 147

Ермаков А. К.131

Ефименко М. Г.10

Ж

Жигалин М. А.15

З

Зайцев М. Д.109

И

Ившина А. А.20

К

Калинин Р. М.23

Калугина К. Е.82

Камбалин И. Д.23

Караваев Ю. А.57

Карнаухов В. И.29

Клоченок Д. А.152

Коптев М. Г.35

Коротеев А. В.23

Котляров А. С.152

Красников А. О.35

Круглов С. П.116

Крючков Д. К.142

Кудряков С. А.96

Л

Ластовкина Е. А.86

Лесков В. В.35

Луненок А. В.43

Лымарь Е. А.158

М

Мешкова Е. М.29

Мингазов А. Л.90

Н

Назаров П. С.96

Немчинов О. А.191

О

Обухова В. Е.147

Омшина Н. О.103

Орлова Н. А.170

П

Перевалов Д. Н.152

Поваренкин Н. В.131

Попов В. М.82, 86

Прискока Д. Д.109

Р

Рафиков А. Ф.49

Рогов Н. В.66

Романьков С. А.116

С

Садовский В. В.54

Саранина Е. В.20

Сафарбаков А. М.43, 54

Скоробогатов С. В.72

Стрельников И. В.57

Сутягин В. М.177

Т

Тармаев А. А.6

Титов Ю. П.109

Ткаченко М. Т.184

Трубников И. В.66

Трушников А. А.158

Ф

Фёдоров В. И.72

Фёдоров Е. Ю.90

Фыркова Т. А.126

Х

Харитонова Е. Н.191

Ходацкий С. А.29

Ч

Чернецкая Д. М.196

Чернышева Г. Н.177, 184

Черняк Д. Е.158

Чуприков И. В.15

Ш

Шагарова А. А.152

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ
И МЕТОДОВ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ – 2020**

СБОРНИК ТРУДОВ

XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов

8-9 декабря 2020 г.

Том 2

Печать трафаретная 13.3 печ.л.	Подписано в печать 26.02.21 г. Формат 60x84/16 Заказ № 801	13.2 уч.-изд.л.
-----------------------------------	--	-----------------

*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, 2021