

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УЛЬЯНОВСКИЙ ИНСТИТУТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ Б.П.БУГАЕВА»
(ФГБОУ ВО УИ ГА)

Факультет: Летной эксплуатации и управления воздушным движением
Кафедра: Авиационной техники
Направление подготовки (специальность): 25.05.05 Эксплуатация воздушных судов и
организация воздушного движения
Специализация: 25.05.05_01 Организация летной работы

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АТ

Д. А. Евсевичев /


(подпись)

« 26 » 06 2024 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе в форме дипломной работы на тему:

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ВС И МЕТОДЫ ЕЁ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Курсант	<u>Д. Д. Прядко</u> (Ф.И.О.)	/  (подпись, дата)	<u>18.06.2024</u>
Руководитель	<u>О. Н. Назарова</u> (Ф.И.О.)	/  (подпись, дата)	<u>18.06.2024</u>
Консультант	<u>Е. С. Федорова</u> (Ф.И.О.)	/  (подпись, дата)	<u>18.06.2024</u>
Рецензент	<u>Г. В. Дмитриенко</u> (Ф.И.О.)	/  (подпись, дата)	<u>19.06.2024</u>
Нормоконтроль проведен	<u>Т. М. Василевская</u> (Ф.И.О.)	/  (подпись, дата)	<u>20.06.2024</u>

Ульяновск 2024

АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе в форме дипломной работы рассматриваются вопросы анализа надежности топливных систем ВС и методов её обеспечения.

В первом разделе рассмотрены основные вопросы надёжности, её составляющих, характеристики отказов топливных систем, причины возникновения отказов, показатели надёжности топливных систем.

Во втором разделе рассматриваются анализ надежности топливных систем ВС, методы её обеспечения, анализ авиационных происшествий и инцидентов, связанных с отказами топливной системы, статистический анализ авиационных инцидентов по причине отказа авиационной техники, выделение доли топливной системы за 2019-2023 гг.

В третьем специальном разделе рассмотрен анализ развития особой ситуации в полете, приведшей к катастрофе самолета Ту-154М в районе аэродрома Домодедово, выявлены факторы опасности, повлекшие катастрофу, разработаны рекомендации по повышению безопасности полетов.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе в форме дипломной работы изложена на 65 страницах, содержит 22 рисунка, 1 таблицу, список используемых источников из 16 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Общие вопросы надёжности топливных систем авиационной техники (ВС)	9
1.1 Надёжность, основные аспекты надёжности топливных систем ВС	9
1.2 Надёжность: виды объектов, их состояние.....	11
1.3 Показатели надёжности.....	15
1.4 Характеристика отказов ТС ВС и механизмы их возникновения.....	16
1.5. Причины отказов ТС, их классификация	19
1.6 Основные требования норм АП25 к ТС ВС	22
1.6.1 Топливные насосы.....	22
1.6.2 Компоненты ТС	22
1.6.3 Топливные фильтры.....	23
1.6.4 Трубопроводы и арматура ТС.....	23
1.6.5 Топливные краны	24
1.6.6 Межбаковая перекачка топлива.....	24
1.7 Влияние эксплуатационных факторов на работу топливных систем.....	24
2 Анализ надёжности топливных систем ВС и методы её обеспечения.....	31
2.1 Статистический анализ авиационных инцидентов, связанных с топливной системой	31
2.2 Авиационные происшествия по причинам отказов топливных систем.....	36
2.3 Методы повышения безопасности при различных неисправностях топливных систем	43
2.4 Способы улучшения ТС по надёжности и отказобезопасности.....	47
3 Анализ развития особой ситуации в полете, приведшей к катастрофе самолета Ту-154М в районе аэродрома Домодедово	50
3.1 Обстоятельства катастрофы самолета Ту-154М в районе аэродрома Домодедово	50
3.2 Характеристики особых ситуаций.....	50

3.3 Развитие особой ситуации в полете	53
3.4 Факторы опасности, влияющие на развитие особой ситуации	61
3.5 Рекомендации по повышению безопасности полетов.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	65

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

AAIU – Air Accidents Investigation Branch (Отделение расследования авиационных происшествий)

AFM – Aircraft Flight Manual (Руководство по лётной эксплуатации)

AFT – After (Задний насос)

AMM – Aircraft Maintenance Manual (Руководство по техническому обслуживанию)

CDCCL – Critical Design Configuration Control Limitation (Контроль ограничений критических мест конструкции)

EASA – European Aviation Safety Agency (Европейское агентство авиационной безопасности)

ECAM – Electronic centralised aircraft monitor (Электронная система централизованного контроля самолета)

EGPWS – Enhanced Ground Proximity System (Система предупреждения о близости земли)

FAA – Federal Aviation Administration (Федеральное управление гражданской авиации)

FADEC – Full Authority Digital Engine Control (Электронно-цифровая система управления двигателем)

FCOM – Flight Crew Operations Manual (Руководство по эксплуатации)

FMU – Fuel Metering Unit (Блок дозирования топлива)

FWD – Forward (Передний насос)

QRH – Quick Reference Handbook (карты контрольных проверок)

SFAR – Special Federal Aviation Regulations (специальные федеральные авиационные правила)

UTC – Coordinated Universal Time (всемирное координированное время)

АП – авиационное происшествие

АТ – авиационная техника

АТБ – авиационно-техническая база

ВПП – взлетно-посадочная полоса
ВС – воздушное судно
ВСУ – вспомогательная силовая установка
КИСС – комплексная информационная система сигнализации
МВП – модуль воздушных параметров
МСРП – магнитная система регистрации режимов полета
ППД – приемник полного давления
ППКР – прибор пилотажный комбинированный резервный
РЛЭ – руководство по летной эксплуатации
СРППЗ – система раннего предупреждения приближения к земли
ТО – техническое обслуживание
ТС – топливная система
ЦСО – центральный сигнальный огонь
ССОС – система сигнализации опасной скорости сближения с землей

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время авиация является самым безопасным видом транспорта. Однако, непрерывное устранение всех рисков для БП не всегда возможно. Важно постоянно совершенствовать системы безопасности, учитывая влияние различных опасных факторов на безопасность, регулярность и экономическую эффективность полетов. Минимизация рисков всегда остается приоритетной задачей персонала, работающего в авиации, так как ошибки могут иметь критические последствия.

Одна из важнейших задач авиапромышленности и гражданской авиации в целом – это обеспечение высокой надежности и отказобезопасности авиационной техники. Сотрудники авиационных предприятий ответственно подходят к её решению, ведь от этого зависит не только эффективность эксплуатации воздушного судна, но и безопасность полетов. Основная цель анализа топливных систем современных ВС – повышение её надежности, а также отказобезопасности эксплуатации самолета.

Авиационная топливная система представляет собой целый комплекс устройств и агрегатов, который обеспечивает ряд функции, таких как подача топлива в камеру сгорания двигателя, хранение топлива в баках, перекачка топлива (для балансировки самолета). Каждый компонент, входящий в ТС самолета, определяет надежность и безопасность полета.

Обращаясь ко всему вышеизложенному, напрашивается вывод, что есть необходимость более детального рассмотрения методов повышения надежности и отказобезопасности топливных систем современных ВС. Анализ ТС – один из основных этапов в создании надежных агрегатов, входящие в топливную систему самолета, которые будут отвечать всем существующим нормам.

Цель работы – анализ надежности топливных систем воздушных судов.

Задачами, решение которых необходимо для достижения поставленной цели, являются:

1. Раскрыть особенности надежности, а также её элементов, выявить связь технического состояния топливной системы ВС с её надежностью.

2. Проанализировать авиационные инциденты и происшествия, связанные с отказом топливной системы, сформировать статистику.

1 Общие вопросы надёжности топливных систем авиационной техники (ВС)

1.1 Надёжность, основные аспекты надёжности топливных систем ВС

Надёжность авиационного оборудования является важнейшим фактором его качества. Высокое качество не может быть достигнуто без высокой надёжности. С появлением более сложных систем авиатехники, увеличением нагрузки, повышением уровня автоматизации, увеличением интенсивности использования и расширением области применения возросла потребность в повышении надёжности систем современных воздушных судов [1].

Теория надёжности как научная дисциплина имеет множество аспектов.

С технической точки зрения, теория надёжности учитывает закономерности отказов, а также возврат объекта к работоспособному состоянию, влияние внешних и внутренних факторов на процессы, которые происходят в продукте. Кроме того, разрабатывает методы расчета надёжности и прогнозирования отказов, находит способы повышения надёжности при разработке и производстве объекта. Теория надёжность разрабатывает рекомендации по процедурам, которые помогут поддерживать объект в работоспособном состоянии. Работа теории надёжности также заключается в изучении существующих и применении новых методов сбора, а также анализа статистических данных [1], которые демонстрируют надёжность и разрабатывает методы оценки надёжности при помощи тестов, процессов и результатов испытаний.

Что касается социально-экономических вопросов, то следует отметить, что все меры, касающиеся повышения надёжности (учитываются все этапа существования изделия) обязаны обеспечивать наибольший народно-экономический эффект. Для достижения этой цели теория надёжности устанавливает связь между количественными показателями надёжности и экономической эффективностью, устанавливает оптимальное значение показателей надёжности и разрабатывает методы выбора оптимальных конструктивных и технических решений, режимов эксплуатации, технического

обслуживания и ремонта, а также обеспечивает надежность с наименьшими затратами. В то же время следует отметить, что повышение надежности требует определенных затрат, а выпуск ненадежной продукции приводит к снижению безопасности и регулярности полетов, непроизводительной трате ресурсов: времени, трудозатрат и денежных средств. Влияние надежности АТ на безопасность и регулярность полетов отражает социальные аспекты теории надежности.

Что касается организационных вопросов, то должна быть гарантирована наилучшая организация трудового процесса и выполнение высококачественных (безошибочных) работ при проектировании, производстве и эксплуатации объектов. Решаются такие вопросы, как организация служб обеспечения надежности, техническое управление, научные исследования и подготовка специалистов. Важность этого аспекта также связана с тем, что все задачи по повышению и обеспечению надежности решаются авиационной системой ("человек-машина-среда"), а большинство авиационных происшествий связано с влиянием человеческого фактора.

Что касается юридических вопросов, то ведется работа по стандартизации в области надежности. Основой является создание серии общих технических стандартов "Надежность в машиностроении" для обеспечения взаимопонимания экспертов, сравнения расчетов и результатов испытаний, современных концепций надежности в стандартах на определенные виды оборудования, и надзор за соблюдением стандартов надежности. Особое внимание уделяется работе по значительному повышению технического уровня и качества выпускаемой продукции в рамках целевой программы в области транспорта. Российское законодательство устанавливает обязательные требования, а качество поставляемой продукции соответствует национальным стандартам и нормам. Качество продукции является важным стандартом для общественной оценки деятельности различных трудовых коллективов и предприятий. Государство возлагает на них ответственность за обеспечение надежности и безаварийной работы производственного оборудования.

Теория надежности заключается в изучении методов обеспечения эффективной работы технических средств в процессе эксплуатации, установлении показателей надежности, демонстрации требований к надежности и формулировании методов обеспечения конкретных требований при проектировании, производстве и эксплуатации объектов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Основные задачи (предметы исследования) теории надежности

1.2 Надежность: виды объектов, их состояние

Объектом можно назвать систему, состоящую из компонентов (элементов), или элементом, содержащийся в более сложной системе. С точки зрения системы, важно разделить продукт на обслуживаемый (не требующий технического обслуживания), восстанавливаемый (не подлежащий восстановлению) и ремонтируемый (не пригодный к ремонту) [2].

Обслуживаемые (не требующие технического обслуживания) объекты - это объекты, которые предусмотрены (не предусмотрены) для обслуживания в нормативно-технических и конструкторских документах.

Восстанавливаемый (не подлежащий восстановлению) объект - это объект, для которого при рассматриваемых обстоятельствах обеспечивается (не обеспечивается) восстановление своего функционального состояния в нормативно-технических и конструкторских документах.

Ремонтируемые (не пригодные к ремонту) - это объекты, для которых предусматриваются (не предусматриваются) ремонтные процедуры в нормативно-технических и конструкторских документах.

Термины, рассматриваемые в теории надежности, включают в себя все технические характеристики объекта, включая набор значений параметров и качественных характеристик, а номенклатура и допустимые ограничения по значениям устанавливаются в нормативно-технических и конструкторских документах (рисунок 2).

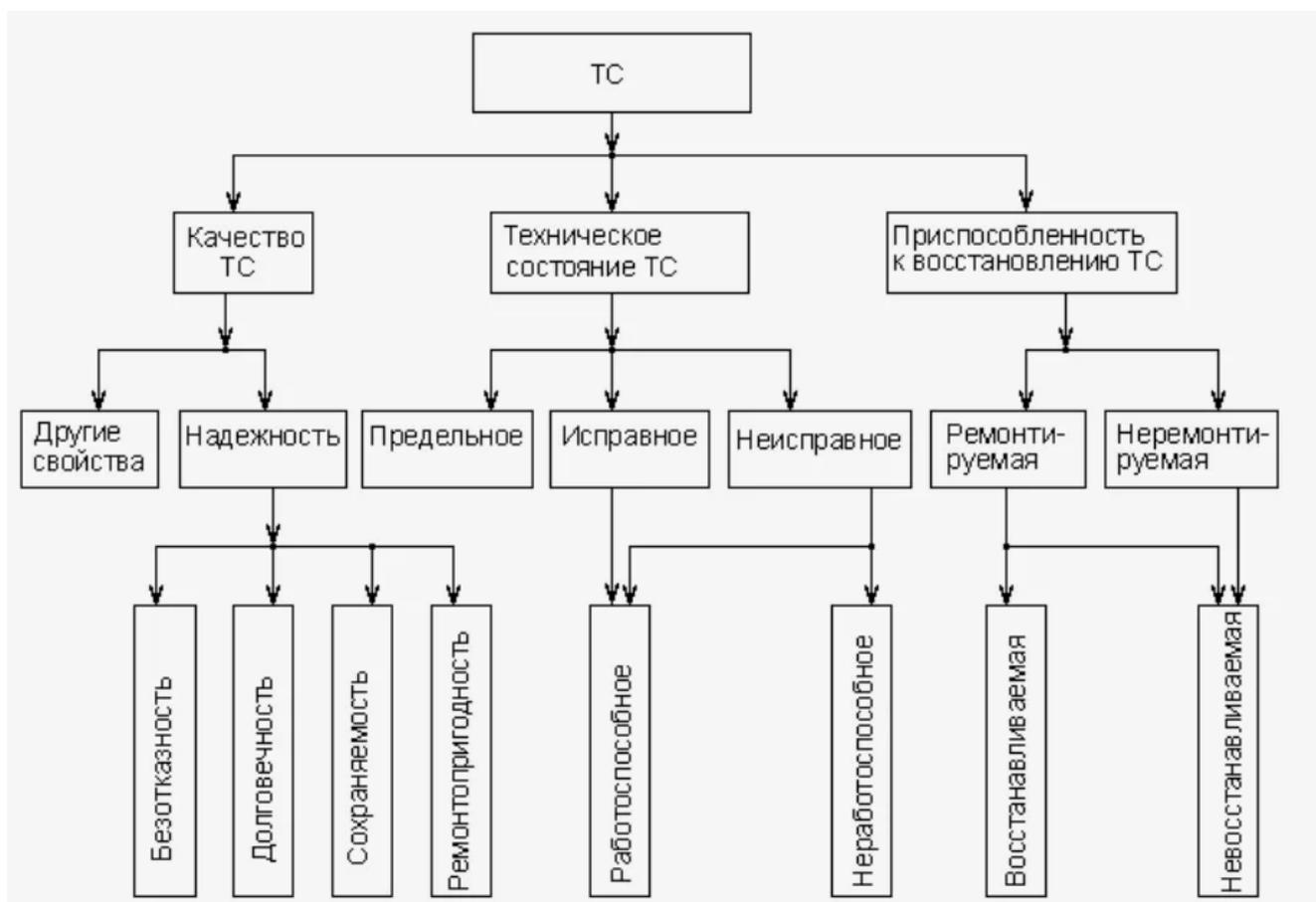


Рисунок 2 – ТС в надежности

Исправное состояние - это состояние объекта, которое соответствует всем требованиям нормативно-технических и конструкторских документов.

В случае повреждения объект не соответствует хотя бы одному из этих требований.

Работоспособное состояние - это состояние объекта, при котором значения всех параметров, указывающих на способность выполнять заданную функцию, соответствуют требованиям нормативно-технических и конструкторских документов.

В случае неработоспособного состояния значение по крайней мере одного параметра из тех, которые указывают на возможность выполнения установленных задач, не соответствует требованиям нормативно-технической и конструкторской документации. В то же время разница между исправным состоянием и работоспособным состоянием объекта заключается в том, что в исправном состоянии выполняются все требования, относящиеся как к основным, так и к второстепенным параметрам, в то время как в работоспособном состоянии выполняются только основные параметры. Таким образом, объект может являться и работоспособным, и неисправным одновременно.

Предельное состояние - это состояние, при котором дальнейшее использование объекта неприемлемо или нецелесообразно, или невозможно восстановить его исправный или работоспособный вид [1].

Повреждение - это событие, при котором сохраняется работоспособность объекта, однако нарушается его исправное состояние.

Отказ - это событие, при котором нарушается работоспособность объекта.

Норматив отказа (предельного состояния) - это признак (один или совокупность) неработоспособного (предельного) состояния объекта, установленный нормативно-техническими и конструкторской документацией.

Надежность - это свойство объекта, при котором значения всех параметров сохраняются во времени в установленных пределах, что указывает на способность выполнять необходимые функции при определенных режимах и условиях эксплуатации, технического обслуживания, хранения и транспортировки. Надежность - это сложное свойство, состоящее из набора свойств, которые

зависят от назначения объекта и условий его использования (безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости) [1].

Например, в изделии, не подлежащем ремонту, основным свойством является безотказность, которая является свойством объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. В данном случае под наработкой понимается продолжительность или объем работы объекта.

Переход объекта из исправного и работоспособного состояния в неисправное и неработоспособное вызывается повреждением и отказом соответственно (рисунок 3).

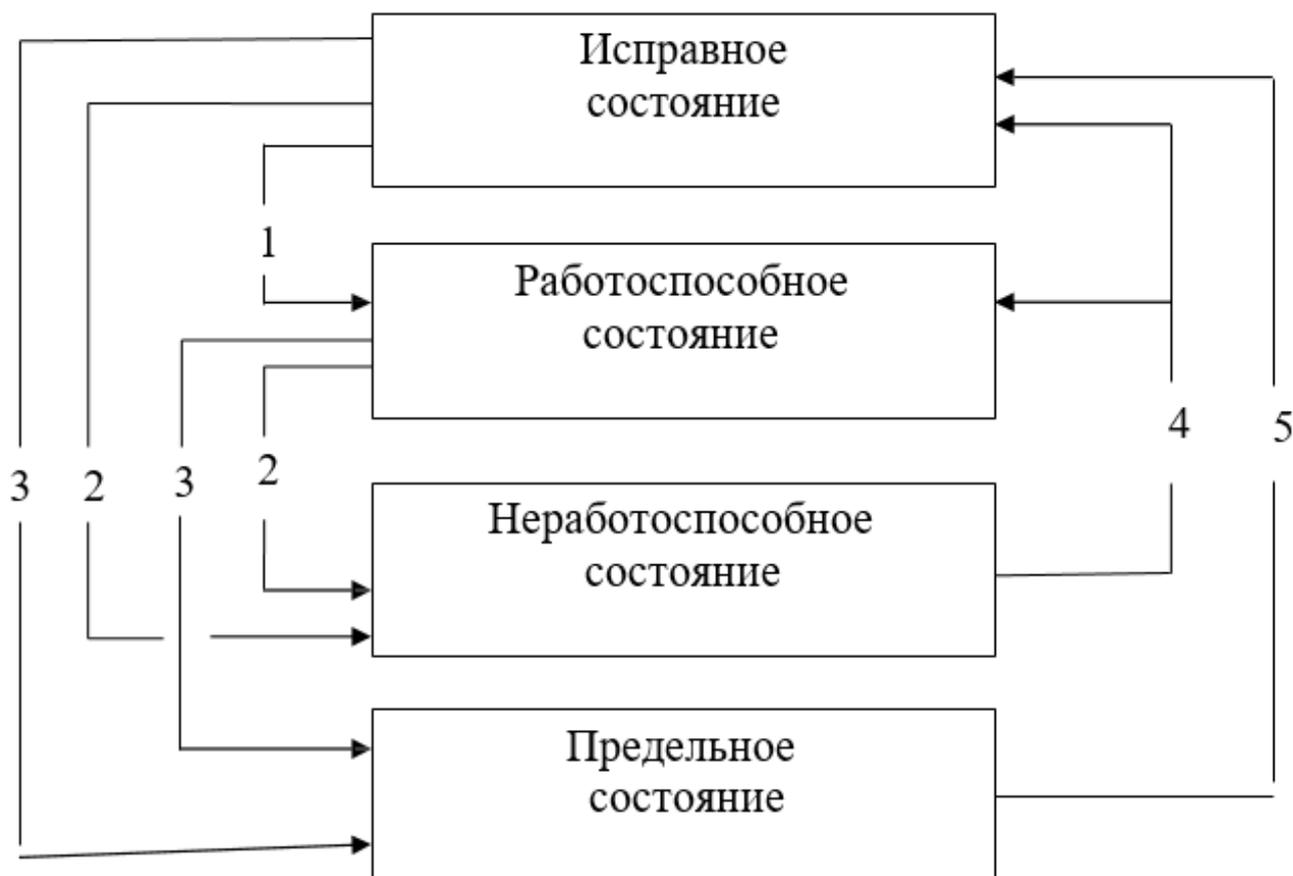


Рисунок 3 – Схема основных состояний и событий:

1 – повреждение объекта; 2 – отказ объекта; 3 – переход объекта в предельное состояние; 4 – восстановлению; 5 – ремонт

Долговечность – это свойство, которое поддерживает работоспособное состояние объекта до тех пор, пока (при установленной системе технического обслуживания) не будет достигнуто предельное состояние [2]. Разница между

безотказностью и долговечностью заключается в том, что безотказность - это свойство, обеспечивающее постоянную работоспособность, в то время как долговечность - это свойство, обеспечивающее длительную работоспособность объекта, с возможными перерывами на техническое обслуживание и ремонт.

Для ремонтируемых объектов наиболее важным свойством является ремонтпригодность – свойство объекта, которое помогает предотвращать и выявлять причины отказов, повреждений и, при помощи техобслуживания и ремонта, восстанавливать работоспособность объекта [2].

Сохраняемость – это свойство объекта, обеспечивающее его безотказность, долговечность и ремонтпригодность во время и после хранения и транспортировки [1].

1.3 Показатели надежности

Количественно надежность объекта выражается показателями надежности. Показатель, связанный с одним из свойств, составляющих надежность объекта, называется единичным показателем. К ним относятся сохраняемость, ремонтпригодность, долговечность и безотказность.

При этом необходимо разделять количественные характеристики, которые не имеют четкого вероятностно-статистического смысла (например, с коэффициентами запаса прочности) и показатели надежности. К расчетным показателям надежности можно отнести характеристики вероятностных математических моделей создаваемых объектов (насосы подкачки, гибкие соединения трубопровода и т.п.) на стадии конструирования и проектирования [1]. Помимо этого, выделяется понятие экспериментальных показателей надежности, которые выполняют статистические оценки вероятностных характеристик на стадии экспериментальной обработки испытаний. Говоря про оценку по данным эксплуатации (аналогично предыдущему пункту), показатели надежности называют эксплуатационными. Прежде всего, данная классификация требуется для предотвращения возможных расхождений при подсчетах разными способами и на разных стадиях жизненного цикла объекта. Показатели

надежности регламентирует стандарт. Грубые ошибки и нарушение целостной системы обеспечения необходимой надежности – это результат нарушений данных правил.

Комплексные показатели надежности - это показатели, связанные с множеством свойств, составляющих надежность.

Одним из основных средств поддержания надежности объекта является резервирование, которое представляет собой использование дополнительных инструментов и функций для поддержания рабочего состояния объекта в случае выхода из строя одного или нескольких компонентов. Совокупность дополнительных средств и возможностей, используемых при резервировании, создает сам резерв. В зависимости от состава резерва, его типы различаются. Структурное резервирование основано на использовании элементов, зарезервированных для структуры объекта, временное резервирование основано на использовании резервов времени, функциональное резервирование - это функциональные резервы, информационное резервирование - это резервы информации, а нагрузочное резервирование - это нагрузочные резервы.

1.4 Характеристика отказов ТС ВС и механизмы их возникновения

Отказ - это явление, связанное с потерей работоспособности системы.

В какой-то момент во время полета, в редких случаях, система может выйти из строя, поэтому полетное задание не будет выполнено.

В случае отказа система перестанет работать, но, если в системе предусмотрено резервирование, она будет использовать ресурсы резервирования для выполнения задачи. Поэтому, если выйдет из строя топливный насос в центральном топливном баке, их будет 2, так что это никак не повлияет на работу системы. Если первый насос выйдет из строя, включится второй насос. Сначала топливо подается из центрального топливного бака, а затем к двигателям с помощью крыльевых насосов.

По связям они делятся на зависимые и независимые.

Зависимые отказы - это отказы в работе системы или компонента из-за повреждения или отказа других компонентов. Например, в топливной системе некачественное топливо может привести к засорению фильтра и последующему повреждению самого насоса [1].

Рассмотрим классификацию отказов, а также этапы и возможные последствия отказов агрегатов ТС (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация отказов агрегатов систем ВС

По причинам возникновения	Неправильные действия технического или лётного состава; конструктивно-производственные ошибки; внешнее воздействие или случайные причины
По механизму устранения отказов	Оперативное техобслуживание; периодическое техобслуживание; профилактический ремонт
По последствиям	Без последствий; задержка или отмена рейса; особая ситуация в полете; предпосылка к авиационному событию
По времени обнаружения отказов	На заводе при испытаниях; на земле при обслуживании; в полете

Независимый отказ - это отказ объекта, который не зависит от повреждения или отказа других компонентов системы или объектов. Например, в случае отказа подкачивающего насоса одного из двигателей, это не повлияет на его работу, так как возможна подача топлива перекрестным путём (от подкачивающего насоса второго двигателя) [1].

Отказ может быть постепенным или внезапным, это зависит от характера его проявления.

Внезапный отказ - это отказ, характеризующийся резким снижением работоспособности системы или объекта ниже предельного уровня [1].

Постепенный отказ - происходит отказ, когда параметр постепенно превышает предельное значение [1].

Отказ топливной системы самолета может происходить внезапно и постепенно. К внезапным отказам топливной системы относятся отказы компонентов топливного насоса, клапанов, подкачивающих насосов, форсунок и т.д. При использовании низкосортного топлива часто происходит постепенный выход из строя топливной системы, что приводит к коррозии топливного бака и трубопровода, что может привести к утечке топлива в будущем. Для того чтобы проанализировать причины отказов и несоответствий авиационного оборудования и сформулировать эффективные меры по повышению безопасности и надежности полетов, важно классифицировать их в соответствии со следующими факторами.

Самая большая трудность выявления и устранения заключается в отказах, которые имеют самоустраняющийся характер. Например, нестабильный электрический контакт или переменное залипание золотника в топливном впрыске. Отказ оборудования не всегда приводит к отказу всей системы.

В зависимости от причины возникновения отказы подразделяется на:

Конструкционные (из-за дефектов конструкции системы);

Технологические (отказ из-за ошибок и дефектов при изготовлении системы, сборки на производстве, неправильно подобранных материалов);

Эксплуатационные (отказ вызван неправильной эксплуатацией, ошибками при техническом обслуживании и ремонте воздушных судов, несоблюдением графиков технического обслуживания, использованием некачественных материалов при техническом обслуживании и ремонте воздушных судов и т.д.);

Деградационные (выход из строя из-за естественного старения материалов в процессе эксплуатации);

Принимая во внимание характер отказа, можно выделить следующие механизмы: механизм мгновенного повреждения, который вызывает внезапный

отказ; механизм накопления повреждений, приводящий к постепенному отказу рассматриваемого объекта.

1.5. Причины отказов ТС, их классификация

Каждая топливная система должна быть сконструирована таким образом, чтобы обеспечивать нормальную работу двигателя при всех условиях эксплуатации с требуемым расходом топлива и давлением.

Каждая топливная система воздушного судна должна иметь возможность длительно работать при максимальном содержании растворенной свободной воды в пределах полного диапазона расхода топлива и давления топлива в ожидаемых условиях эксплуатации, а также охлажденного до максимально критической температуры (с точки зрения обледенения), которая может возникнуть в процессе эксплуатации. Конструкция и расположение топливной системы должны предотвращать воспламенение паров топлива внутри системы при:

Прямые удары молнии в места нахождения наиболее вероятных мест попадания разряда молнии на воздушном судне.

Скользящие разряды молнии в те места, где возникновение скользящих разрядов вероятно.

Коронный разряд и протекание в области баков дренажа тока молнии [3].

Топливная система должна обеспечивать подачу топлива с расходом не менее 100% от расхода, требуемого двигателем во время каждого предполагаемого режима работы и маневра. Давление и температура топлива при подаче к каждому двигателю должны находиться в пределах, указанных в сертификате модели двигателя. Если двигатель может работать на топливе из нескольких топливных баков, то после переключения на любой из возможных топливных баков (если очевидно, что нарушение работы двигателя происходит ввиду малого количества топлива в подключенном баке), не более чем через двадцать секунд ТС должна обеспечить полное давление для всех двигателей;

Для каждого газотурбинного двигателя, помимо соответствующего ручного переключения, необходимо предусмотреть устройство,

предотвращающее прерывание подачи топлива в этот двигатель без участия экипажа. При ситуации, когда топливо, в любом баке, питающем этот двигатель, выработано в процессе нормальной работы, а в любом другом баке, из которого обычно подается топливо только к этому двигателю, есть используемый запас топлива. Наиболее распространенными неисправностями и отказами топливной системы являются: отказ подкачивающего насоса из-за повреждения подшипника. Отказ запорного клапана и кранового механизма, вызванный неисправностью электродвигателя постоянного тока [4]. Неисправность топливного насоса (нарушение регулировки, повреждение), редукционных клапанов, что незамедлительно приведет к снижению давления топлива. Отказ радиаторной системы, насосов, а также большое количество влаги может привести к замерзанию топлива. Во время технического обслуживания большое внимание уделяется герметичности топливной системы. Прежде всего проводится проверка трубопроводных и агрегатных стыков. Затем необходимо удостовериться в заборниках дренажной системы. Ошибки при ремонте ВС, неблагоприятные проявления свойств топлива, повышающее вероятность повреждения элементов двигателя, конструктивно-производственные неточности, неправильное техобслуживание и нарушение эксплуатационных правил ТС не только в полёте, но и на земле – всё это обуславливает неисправности и отказы элементов ТС.

Выделяются следующие основные причины:

1. Топливо вытекает через топливный бак и сливной клапан. О не герметичности топливного бака и клапана слива отстоя можно судить по следам утечки топлива на нижней поверхности крыла, нише шасси и под центропланом [8]. Основными причинами утечки топлива из топливного бака являются неплотное соединение панелей топливных баков, недостаточная герметизация и повреждение уплотнительного кольца сливного клапана.
2. Так как в системе возникает повышенная вибрация в топливе, происходит разрушение корпусов топливных фильтров.
3. Рассматриваются отказы перекачивающих и подкачивающих насосов, которые связаны с повреждением подшипников электродвигателя (может

включать в себя значительную вибрацию и постоянный звон), износом уплотнений насоса. Данный отказ может стать причиной повреждения коллекторного узла электродвигателя, течи топлива.

4. В случае повреждения мембран возможно окисление контактов датчиков давления.

5. При низкой внешней температуре элемент топливного фильтра засоряется кристаллами льда. Возможна полная или частичная закупорка фильтра магистрали низкого давления, что приводит к значительному увеличению гидравлического сопротивления и ухудшению кавитационных характеристик основного топливного насоса [3].

6. Отказ кранов кольцевания, пожарных перекрывных кранов. Это вызвано износом уплотнений и выходом из строя электрических механизмов и компонентов привода клапана.

7. Возможна неисправная работа топливных регуляторов при наличии воздуха в системе, колебания частоты вращения ротора и останов двигателя, а также кавитации в насосах и трубопроводах. Для предотвращения подобных последствий из топливной магистрали производится удаление воздуха через специальные клапаны при длительных стоянках.

8. При высокой температуре топлива (выше 100-110°C) фильтры и форсунки засоряются микрозагрязнениями.

9. Разрушение трубопровода. В случае газотурбинных двигателей является значительной частью отказов усталостного происхождения, происходит по причине колебаний. Самыми слабыми местами трубопроводов в аспекте разрушения являются зоны высоких напряжений, такие как: зоны перехода от цилиндрической формы к конической, зоны сварки и пайки, зоны максимальной изогнутости труб. Циклический изгиб вибрациями от двигателя приводит к окружным трещинам, а пульсационное давление топлива может проявиться в виде трещин вдоль образующей трубопровода. Поверхностные повреждения, такие как: вмятины, риски, забоины и т.д. – приводят к снижению усталостной

прочности трубопроводов [5]. Именно по этим причинам к качеству монтажа трубопровода предъявляются высокие требования.

Причиной отказа является событие, процесс, явление и состояние, которые вызвали отказ. Например, причиной повреждения, связанного с износом шлицевого соединения, может быть: нарушение правил затяжки болтов крепления крышки и корпуса редуктора, ремонт путем срезания резьбы болта крепления крышки или корпуса, нарушение системы прокладок.

1.6 Основные требования норм АП25 к ТС ВС

1.6.1 Топливные насосы

Основные топливные насосы необходимы для правильной работы двигателя или для удовлетворения требований к ТС. Необходимо предусмотреть возможность перепуска избыточного количества топлива для каждого основного насоса объемного типа. Однако есть исключение для насосов, которые относят к части двигателя – насосы непосредственного впрыска. Насосы, которые обеспечивают впрыск топлива непосредственно в двигатель, а не в карбюратор, называю насосами непосредственного впрыска [6].

В каждой ТС должны быть предусмотрены или дополнительные основные насосы, или аварийные для питания двигателей топливом после выхода из строя любого основного насоса (исключение – насос непосредственного впрыска).

Таким образом, резервирование насоса непосредственного впрыска (считается частью двигателя) не требуется.

1.6.2 Компоненты ТС

Все компоненты ТС, которые находятся в фюзеляже или гондоле двигателя должны быть защищены от повреждения, в результате которого могло стать вытекание топлива (количество рассчитывается из создавшейся угрозы пожара при посадке с убранными шасси на ВПП с твердым покрытием).

1.6.3 Топливные фильтры

Должен быть установлен сетчатый (а также другие типы) топливный фильтр в топливорегулирующую аппаратуру или между заборником топлива из бака и входом, или в приводимый двигателем насос объемного типа (зависит от расположения, что ближе к баку). В данном случае топливный фильтр должен:

Иметь отстойник со сливом (исключение допускается, если, слив не нужен, то есть сетчатый или другой фильтр легко снимается для этой цели);

Иметь пропускную способность (учитывая эксплуатационные ограничения двигателя), которая обеспечивает нормальную работу ТС двигателя на загрязненном до степени, превосходящей установленную для двигателя, топливе [6];

Иметь возможность слива отстоя или очистки, а также иметь быстросъемную сетку или элемент;

Быть установлен так, чтобы масса фильтра не нагружала его входной и выходной штуцеры или трубопроводы, если не предусмотрены достаточные запасы прочности при всех случаях нагружения.

1.6.4 Трубопроводы и арматура ТС

Должны быть предусмотрены меры, которые обеспечат необходимую гибкость (подвижность), во всех трубопроводах ТС, которые соединены с теми частями ВС, между которыми возможно относительные перемещения. Гибкие шланги или другие компенсирующие элементы должны быть реализованы для каждого соединения (гибкого) трубопроводов, которые могут находиться под давлением. Гибкие шланги должны быть одобренного типа или должно быть показано, что он пригоден для данного применения. При наличии гибких шлангов, непригодных для использования при высоких температурах, их установка не должна быть выполнена в местах, где во время работы или после выключения двигателя возможно возникновение высокой температуры.

Каждый трубопровод ТС, установленный внутри фюзеляжа, должен иметь достаточную деформацию и удлинение, чтобы не допускать возможных течей.

Установка трубопровода должна быть выполнена таким образом, чтобы он выдерживал давление, создаваемое топливом, а также не испытывал чрезмерной вибрации с учетом полётных перегрузок при ожидаемых условиях эксплуатации [6].

1.6.5 Топливные краны

Каждый топливный кран должен быть закреплен с учетом нагрузки, которая возникает при перегрузках или при работе крана. Нагрузка не должна передаваться на трубопроводы, которые подсоединены к крану.

1.6.6 Межбаковая перекачка топлива

Дренажная система баков и система перекачки топлива не должны допускать повреждение конструкции баков при их переполнении, если предусмотрена возможность перекачки топлива из одного бака в другой в полете.

1.7 Влияние эксплуатационных факторов на работу топливных систем

ВС ГА эксплуатируются на трассах различной протяженности, при различных климатических условиях. Условия эксплуатации авиационной техники оказывают серьезное влияние на техническое состояние систем самолета как на земле, так и в воздухе.

Эксплуатационные характеристики топливной системы во многом определяются летно-техническими данными самолета, типом двигателя, используемым видом топлива и условиями эксплуатации. Отечественные марки топлива должны обладать определенными характеристиками, от которых во многом зависит надежность и эффективность работы топливной системы [7]. Прежде всего необходимо обратить внимание на испаряемость, воспламеняемость, горючесть, склонность к накоплению отложений, коррозионная активность, прокачиваемость, износостойкие свойства, стабильность и безопасность.

В авиационном топливе могут появляться загрязнения на любом этапе эксплуатации ВС. Твердые, жидкие и газообразные примеси следует рассматривать как загрязняющие вещества. Можно выделить распространенные загрязняющие вещества, которые могут оказать негативное влияние на техническое состояние ТС и безопасность полетов: металлы, а также их оксиды, неметаллы (сера, диоксид кремния, вода, кислород) [8].

В процессе эксплуатации топливо значительно загрязняется продуктами коррозии (этот эффект особенно важен при хранении на складе). Говоря об атмосферной пыли, стоит отметить, что при попадании в топливо возможен значительный износ абразивных соединений деталей топливной системы.

Появление воды в углеводородном топливе возможно прежде всего за счет обратной гироскопичности. При изменении давления, температуры или влажности атмосферы в топливе образуются фазовые переходы. То есть допускается эмульгированное и растворенное состояние воды в топливе. Помимо указанных, вода может быть в системе в виде осадка. На рисунке 4 можно увидеть, как растворимость воды зависит от температуры.

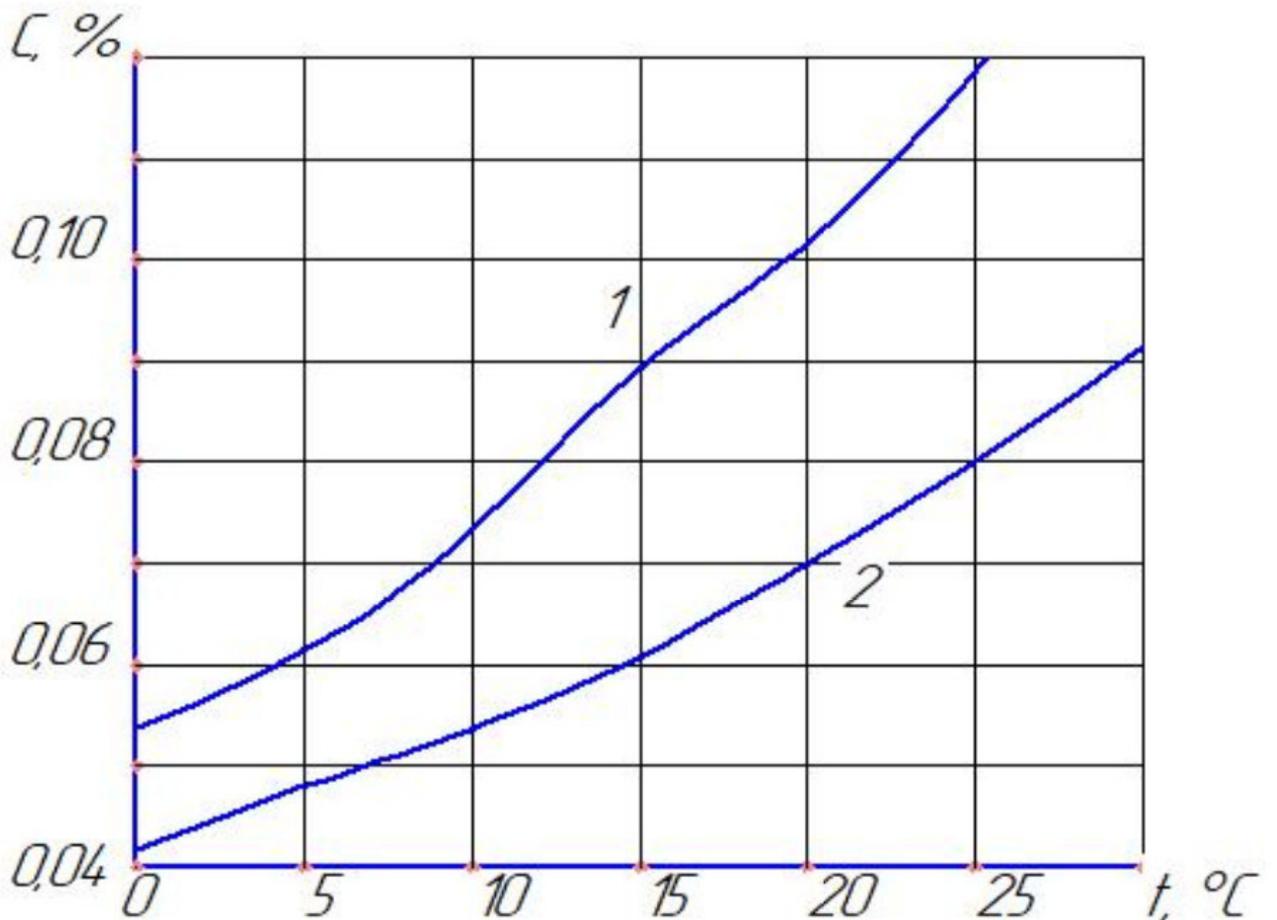


Рисунок 4 – Зависимость растворимости воды $\bar{\zeta}$ в авиатопливах от температуры

t_T :

1 – бензин; 2 – керосин

Вода является одним из наиболее активных веществ, способствующих образованию твердых частиц загрязняющих веществ, которые оказывают негативное влияние на техническое состояние агрегатов ТС.

На рисунке 5 показаны возможные виды состояния воды в топливных баках, а также их переходы при условии изменения температуры окружающего воздуха.

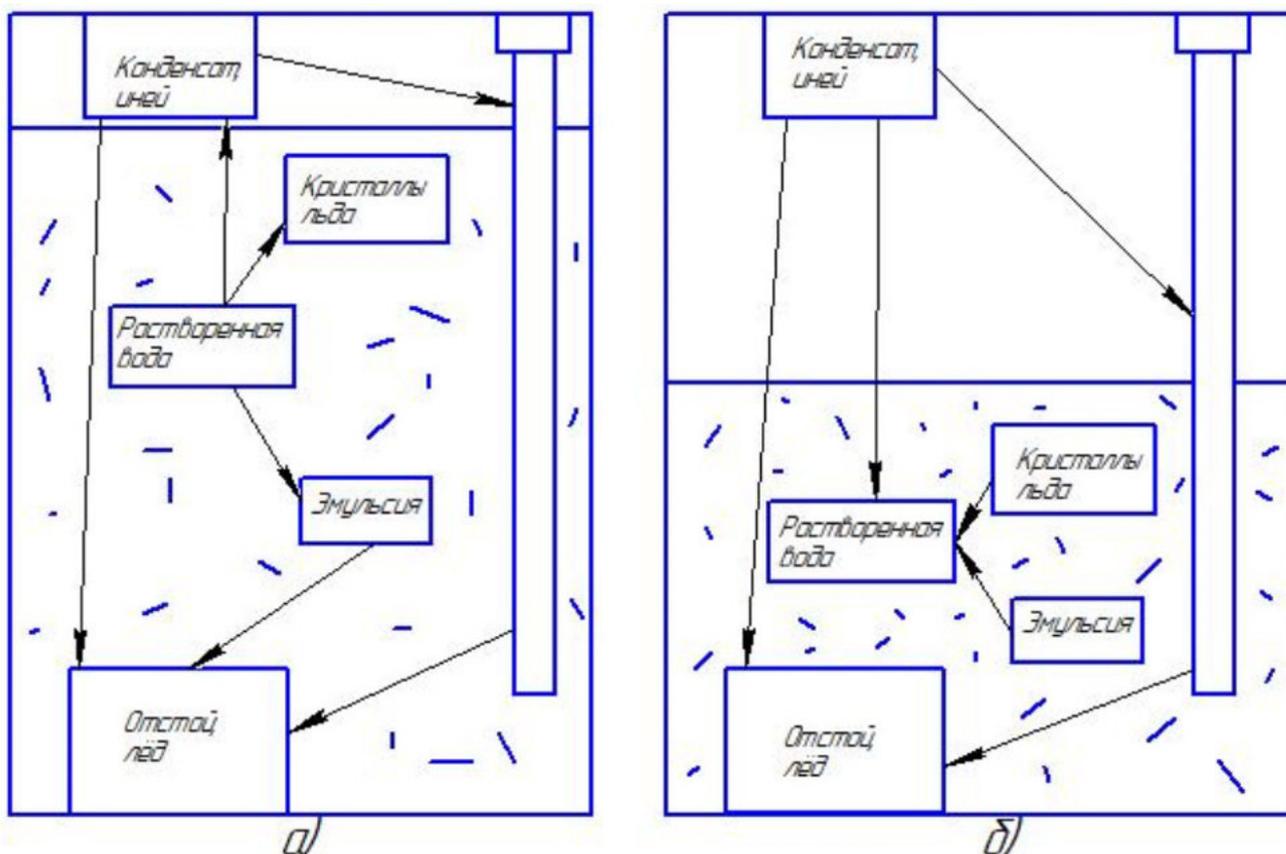


Рисунок 5 – Фазовые переходы воды в топливе и баке:

а – при снижении температуры наружного воздуха; б – при повышении температуры наружного воздуха

При длительной стоянке ВС в условиях большой разницы между максимальной и минимальной температурой в течение суток, если баки заправлены не «под пробки», возможно накопление осадка. Это происходит из-за того, что температура пространства над топливом сильно отличается от температуры стенок бака, в результате чего вода конденсируется на стенках и стекает на дно. При резком снижении температуры воздуха и концентрации воды в баке близкой к максимальной растворимости возможно появление водной эмульсии в топливе [9].

При наборе высоты уменьшаются такие параметры, как температура, давления и влажность окружающего воздуха. Топливо в баках становится перенасыщенным растворенной водой, когда давление в баке снижается (рисунок 6).

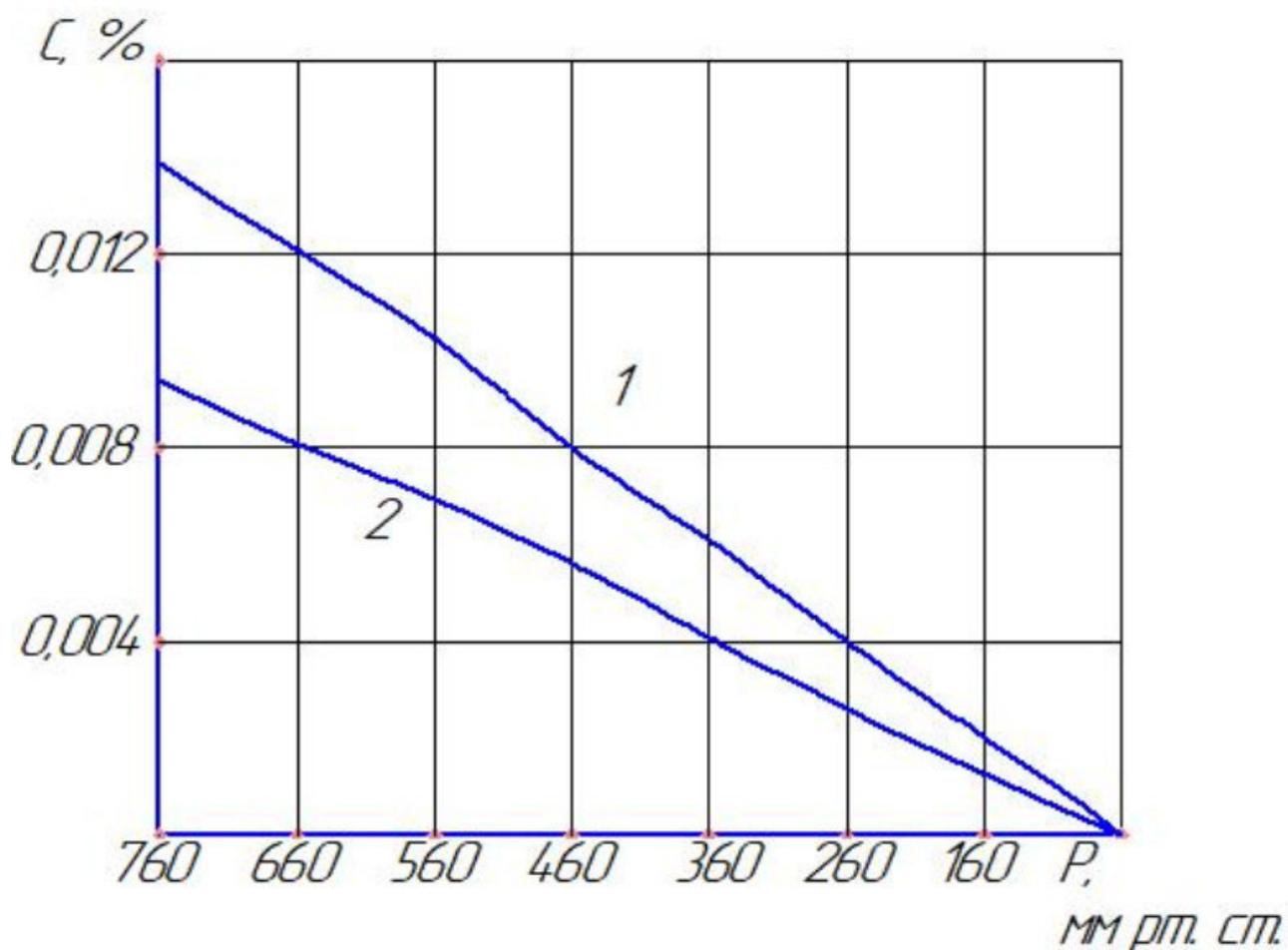


Рисунок 6 – Зависимость растворимости воды $\bar{\zeta}$ в авиатопливах от атмосферного давления P :

1 – бензин; 2 – керосин

Рассматривая техническое обслуживание самолетов, особую важность имеют показатели фактической долговечности, а именно полный срок службы и полный ресурс рассматриваемого объекта системы самолета. В современном самолетостроении надежность ВС в целом зависит от надежности каждого комплектующего элемента всех систем, в том числе ТС самолета.

На рисунке 7 отображена зависимость растворимости воды в топливе при различной относительной влажности и температуре окружающего воздуха.

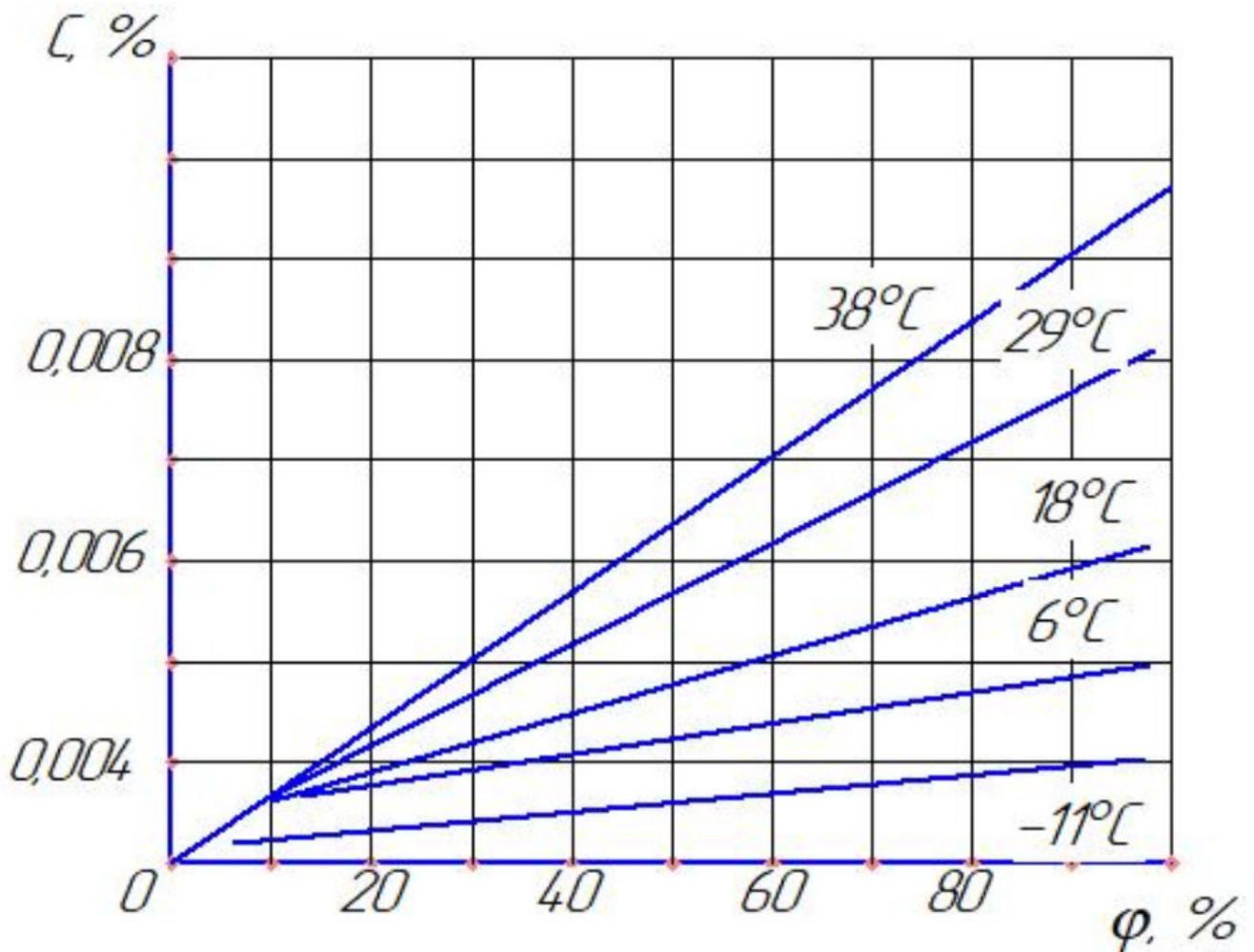


Рисунок 7 – Зависимость растворимости воды $\bar{\zeta}$ в керосинах от относительной влажности воздуха ϕ .

Наличие воды в топливе особенно опасно при образовании кристаллов льда, которые могут засорить топливные фильтры и насосы. Более того, при попадании воды в каналы ТС возможно образование коррозии, повышенный износ и даже заклинивание агрегатов топливной системы самолета, таких как подшипники, плунжерные соединения и другие.

Концентрация воды значительно уменьшается при полете на эшелоне. Для этого этапа полета характерна очень низкая температура как наружного воздуха, так и топлива в баках. Данные параметры принимают стабильные значения не сразу, а лишь через 4-5 часов полета (рисунок 8).

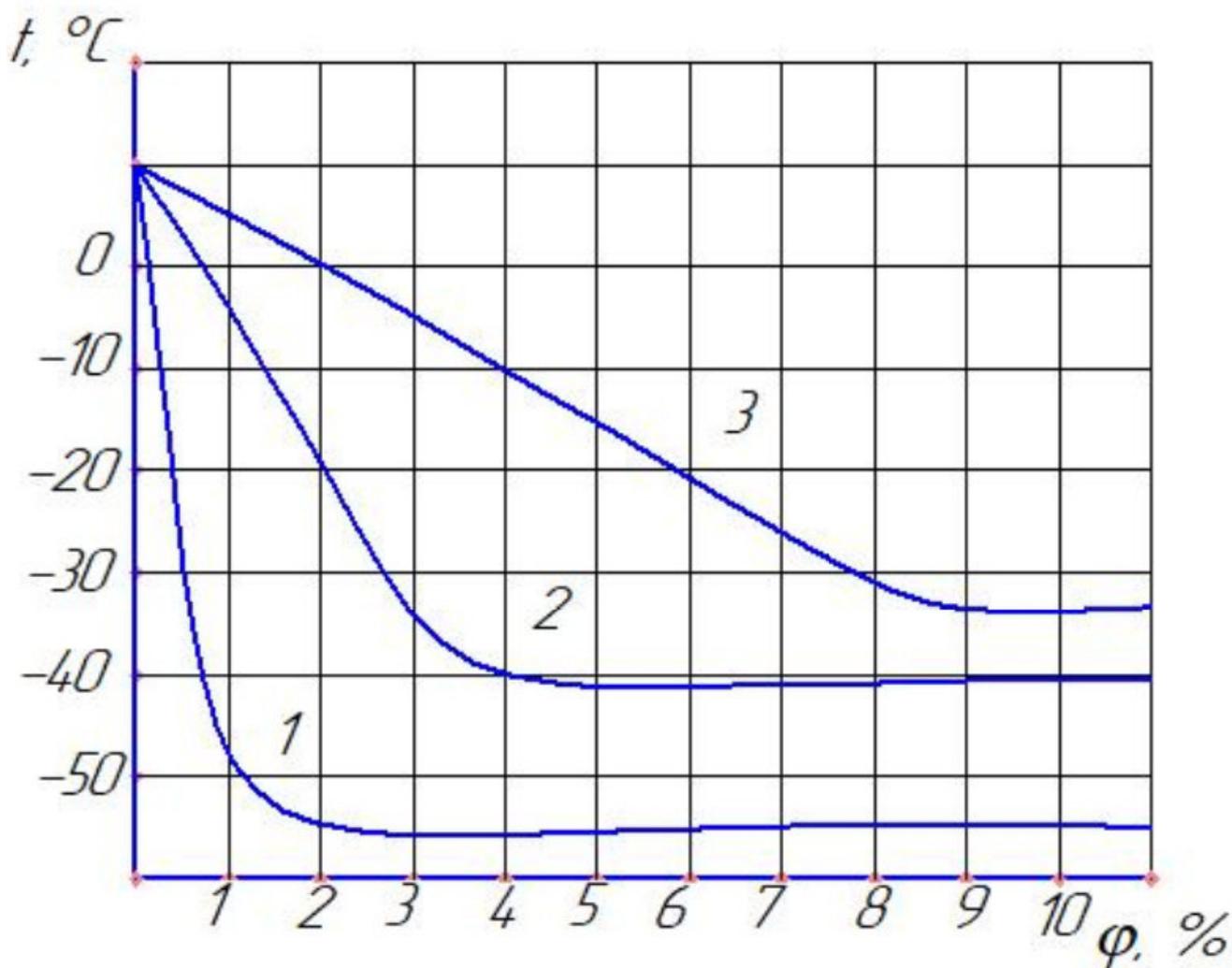


Рисунок 8 – Изменение t_T :

1 – $t_{нв}$; 2 – t_T в баках; 3 – t_T в расходных баках

Таким образом, при каждом полете самолета из-за снижения давления и температуры в топливном баке из топлива выделяется растворенная вода с ее фазовым переходом. Из-за большого количества топлива, загружаемого в баки современных самолетов, в них скапливается большое количество воды, что создает опасность для эксплуатации [9].

Показания топливомеров искажаются при наличии воды большой концентрации в топливе.

2 Анализ надежности топливных систем ВС и методы её обеспечения

2.1 Статистический анализ авиационных инцидентов, связанных с топливной системой

Согласно отчетам Федерального Агентства Воздушного Транспорта, за период с 2019 по 2023 г в России, получены основные сведения о распределения авиационных инцидентов типу воздушных судов. В 2019 году произошло 25 авиационных инцидентов (рисунок 9), причиной которых явились отказы авиационной техники, один из них по причине отказа топливной системы (самолет А-319).

Система	Тип ВС						Всего
	А-319	А-320	CRJ-200	В-737	В-174	В-777	
Двигатель	–	–	2	–	1	2	5
Топливная система	1	–	–	–	–	–	1
Гидросистема	3	1	–	–	1	2	8
Герметизация кабины	1	–	–	–	–	–	1
Механизация крыла	–	–	–	–	3	–	3
Шасси	3	1	1	–	–	–	4
Противообледенительная система	–	–	1	–	–	–	1
Противопожарная система	–	–	–	1	–	–	1
Лючки, капоты, остекление	–	–	–	–	–	1	1
Всего	8	2	4	1	5	5	25

Рисунок 9 – Авиационные инциденты по причине отказа АТ за 2019 год

В 2020 году произошло 18 авиационных инцидентов, причиной которых явились отказы авиационной техники. Данная статистика распределена по типам ВС, что можно видеть на рисунке 10. Из них ноль по причине отказа топливной системы. Проводя сравнение с 2019 годом, можно сделать вывод, что общее число инцидентов по причине отказа АТ уменьшилось на 32%.

К одной из основных причин, по которым произошли авиационные инциденты, необходимо отнести недостаточный уровень надежности систем, а также отсутствие возможности определить предотказное состояние компонента системы в процессе эксплуатации ВС.

Система	Тип ВС						Всего
	A-319	A-320	CRJ-200	B-737	B-777	B-747	
Двигатель	1	–	1	1	–	1	4
Топливная система	–	–	–	–	–	–	–
Гидросистема	1	1	–	–	2	–	4
Герметизация кабины	1	1	–	–	–	–	2
Механизация крыла	1	–	–	–	–	–	1
Шасси	–	–	2	1	–	1	4
Противообледенительная система	–	–	–	–	–	–	–
Противопожарная система	–	–	–	–	–	1	1
Лючки, капоты, остекление	1	–	–	–	1	–	2
Всего	5	2	3	2	3	3	18

Рисунок 10 – Авиационные инциденты по причине отказа АТ за 2020 год

К основным причинам, по которым происходят авиационные инциденты, связанные с отказом авиационной техники, относятся конструктивно-производственные недостатки (КПН). Существенное влияние оказывает некачественный ремонт и оперативно-техническое обслуживание ВС, а также нарушение в регламенте проведения этих работ.

В 2021 году произошло 47 авиационных инцидентов (рисунок 11), причиной которых явились отказы авиационной техники. Из них два по причине отказа топливной системы (самолет RRJ-95). По сравнению с 2020 годом, количество авиационных инцидентов, которые произошли из-за отказа АТ, увеличилось на 176%.

Система	Тип ВС								Всего
	A-319	A-320	CRJ-200	B-737	B-747	B-777	RRJ-95	G-550	
Двигатель	2	-	-	-	1	-	7	-	10
Топливная система	-	-	-	-	-	-	2	-	2
Гидросистема	1	-	-	-	-	1	3	-	5
Герметизация кабины	-	-	-	-	1	-	1	-	2
Механизация крыла	-	1	1	1	1	-	6	-	10
Шасси	-	-	-	-	-	-	6	1	7
Система управления	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Противопожарная система	1	-	-	-	1	-	-	-	2
Электросистема	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Система кондиционирования	-	-	-	-	-	-	2	-	2
Приборное оборудование	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Радиосвязное оборудование	-	-	-	-	-	-	1	-	1
САУ	-	-	-	-	-	-	3	-	3
Всего	4	1	1	2	4	1	33	1	47

Рисунок 11 – Авиационные инциденты по причине отказа АТ за 2021 год

В 2022 году произошло 60 авиационных инцидентов (рисунок 12), причиной которых явились отказы авиационной техники. Из них шесть по причине отказа топливной системы (самолет RRJ-95). Исходя из указанных данных, количество инцидентов увеличилось на 27% в сравнении с 2021 годом.

Система	Тип ВС								Всего
	A-319	A-320	CRJ-200	B-737	B-747	B-777	RRJ-95	АН-26Б	
Двигатель	-	-	-	-	1	2	1	-	4
Топливная система	-	-	-	-	-	-	6	-	6
Гидросистема	-	-	-	1	-	-	9	-	10
Герметизация кабины	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Механизация крыла	-	-	-	-	2	-	6	-	8
Шасси	1	-	-	-	-	-	5	-	6
Система выхлопа (реверс)	-	-	1	1	-	-	11	-	13
Система кондиционирования	-	-	1	-	-	-	5	-	6
Приборное оборудование	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Радиосвязное оборудование	-	-	-	-	-	1	1	1	3
САУ	-	-	-	-	-	-	2	-	2
Всего	2	-	2	2	3	3	47	1	60

Рисунок 12 – Авиационные инциденты по причине отказа АТ за 2022 год

В 2023 году произошло 24 авиационных инцидентов (рисунок 13), причиной которых явились отказы авиационной техники. Из них ноль по причине отказа топливной системы. Сравнивая показатели 2022 и 2023 года, можно заметить, что в 2023 году количество инцидентов уменьшилось на 60%.

Система \ Тип ВС	Тип ВС								
	A-319	A-320	CRJ-200	B-737	B-747	B-777	RRJ-95	Як-40	Всего
Двигатель	-	-	-	1	-	-	1	-	2
Топливная система	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Гидросистема	-	-	-	1	-	-	2	-	3
Герметизация кабины	-	1	-	1	-	-	1	-	3
Механизация крыла	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Шасси	-	2	-	-	-	-	5	-	6
Система выхлопа (реверс)	-	-	-	-	-	1	5	-	6
Противопожарная система	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Система кондиционирования	-	-	-	-	-	-	1	1	2
Всего	-	3	-	3	-	1	17	1	24

Рисунок 13 – Авиационные инциденты по причине отказа АТ за 2023 год

По информации Министерства Транспорта Российской Федерации, в 2023 году уровень безопасности полетов коммерческой ГА был максимально высоким за период 2019-2023 годов. По этим данным относительный показатель состояния безопасности полетов по АП в ГА в 2023 году равен 11,5, в то время, как с 2019 по 2022 год он находился в пределах 6,8 – 20,9.

Подводя итоги, получаем диаграмму (2019-2023 гг.), на которой наглядно видно распределение причин, связанных с отказами авиационной техники, возникновение авиационных инцидентов (рисунок 14):

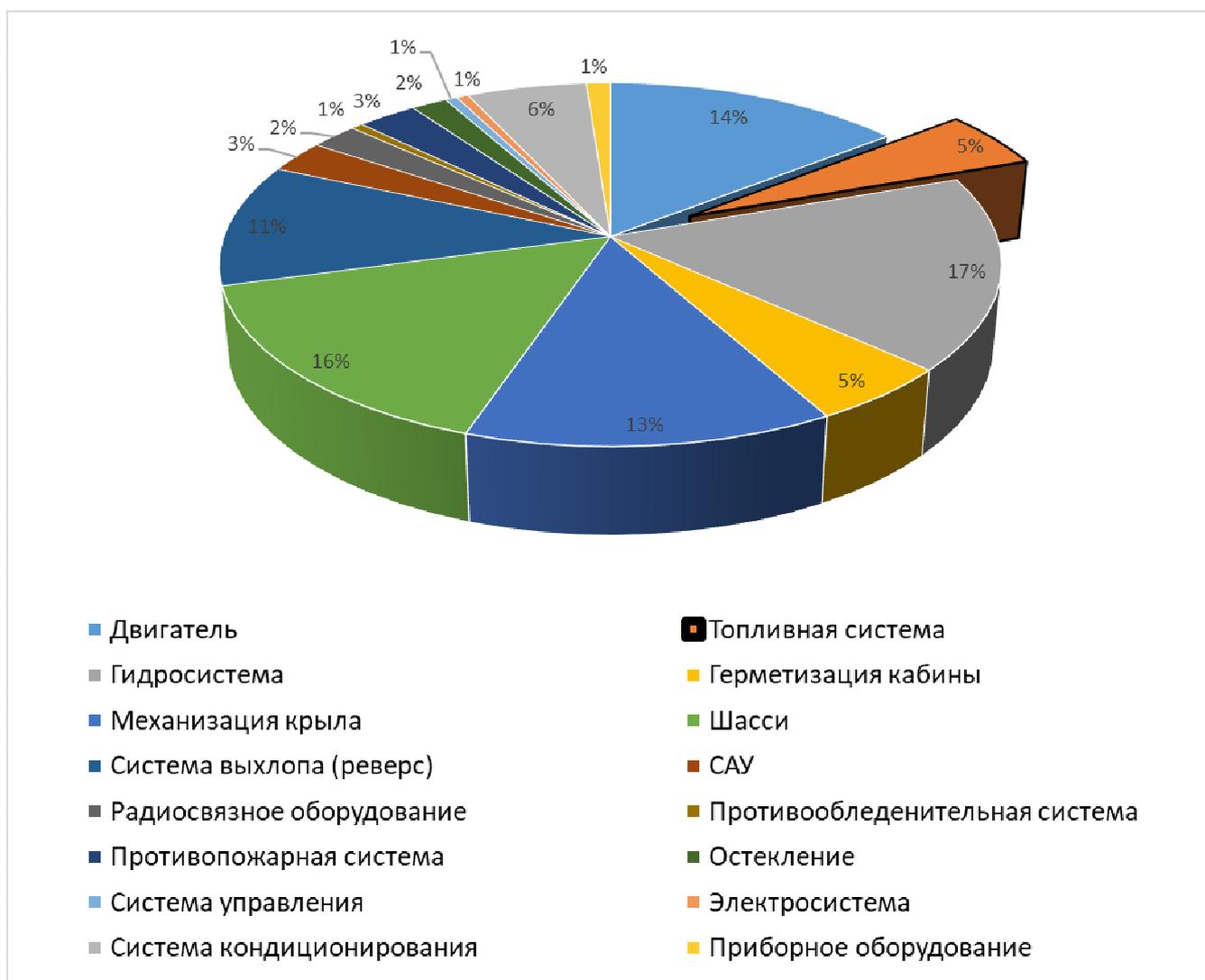


Рисунок 14 – Диаграмма отказов АТ, приведших к АС за 2019-2023 гг.

Таким образом, исходя из диаграммы, за 2019-2023 гг. произошло 174 инцидента по причине отказа авиационной техники, из которых 9 ввиду отказа топливной системы. Несмотря на то, что отказов ТС мало по сравнению с другими (5%), они являются факторами риска развития аварийной ситуации [10].

2.2 Авиационные происшествия по причинам отказов топливных систем

05.09.2011 В-737 RA-73005 авиакомпании «Сахалинские авиалинии» (командир воздушного судна Цыганков А.А.) следовал по маршруту Петропавловск Камчатский – Хабаровск (рейс СХУ80). Была произведена вынужденная посадка на аэродроме вылета, так как была обнаружена течь топлива с правой консоли крыла в процессе набора высоты.

В результате проведенного расследования, комиссия пришла к выводу, что причиной течи из топливного бака №2 было нарушение при выполнении работ по устранению неисправности ТС. Течь возникла через технологическое отверстие дренажного бака. Была обнаружена негерметичность трубопровода (между краном подачи топлива к двигателю и краном слива топлива). Обжатие трубопровода – нарушение в креплении фланца, в результате которого произошло его отсоединение. Комиссия завершила расследование 14 сентября 2011 года [11].

16.11.2011 В737-500 VP-BRI авиакомпании «Нордавиа-РА» следовал в аэропорт назначения Шереметьево. Авиационный инцидент произошел в процессе снижения. Экипаж обнаружил загорание табло «Пожар ВСУ» при попытке запуска ВСУ, были выполнены все действия для нейтрализации возникшего пожара. В процессе расследования комиссия не обнаружила следов пожара, однако причиной явилось возгорание топлива, которое отложилось в сборнике утечек кожуха ВСУ (рядом с датчиком пожара). Дренажная система ВСУ, а именно дренаж сборника утечек) была засорена коксообразным налетом.

09.06.2012 В737 VP-BXQ в 12:25 UTC экипаж обнаружил нарушение в работе топливной системы, расход топлива из расположенного в правом полукрыле бака был в два раза больше нормального (7500 lbs в час). Самолет набирал 360 эшелон, возникающий левый крен парировался за счет нормальной работы автопилота. Экипаж отнес такую работу ТС, как её серьезный отказ. Все насосы были включены.

Было принято решение прекратить дальнейший набор высоты и занять эшелон 340, экипаж считал, что продолжение полетного задания невозможно. В момент времени, когда разница в количестве топлива между левым и правым полукрылом достигла значения 4000 lbs, экипаж открыл кран кольцевания, чтобы топливные насосы центрального бака не отказали. Сразу после этого, были выключены подкачивающие насосы топливного бака в правом полукрыле, что привело к расходу топлива из центрального бака.

Экипаж произвел благополучную посадку на аэродроме города Астрахань. Анализируя данный инцидент, необходимо указать, что в документах (QRH, AFM

и FCOM) отсутствуют какие-либо указания по действиям при таком отказе топливной системы самолета в полете [12].

На земле топливомеры показывали следующие значения: 10240 lbs в топливном баке левого полукрыла, 1900 lbs в центральном топливном баке и 6200 lbs в топливном баке правого полукрыла. Данные показания соответствовали фактическому количеству топлива, которое находилось в баках. Комиссией был проведен осмотр самолета, в результате которого повреждений или течи топлива не было выявлено.

Причиной нарушения работы топливной системы оказалось снижение производительности правого топливного насоса центрального бака. ВС было допущено к дальнейшим полетам без ограничений после замены насоса RH CENTER BOOST PUMP.

10.06.2012 B737 VP-BRS. Авиационный инцидент произошел по причине неравномерной выработки топлива. В процессе полета было выработано всё топливо из центрального бака, после чего экипаж выключил насосы, которые в нем расположены, что регламентировано документами. В процессе дальнейшего полета, экипаж выполнял проверку всех систем и заметил, что топливо расходуется только из бака №1. К этому моменту разница в количестве топлива в левом и правом полукрыле составляла приблизительно 250 кг. Первым делом была выполнена проверка предохранителей насосов бака №2, они были включены. Для устранения разницы был отключен автомат тяги, а также изменены режимы работы двигателей. Однако это не помогло, топливо продолжало расходоваться из бака №1. Возникающий крен был парирован автопилотом.

По результатам работы комиссии была выявлена причина неправильной работы топливной системы самолета. В электроразъеме D0792 был нестабильный контакт, так как в него попала влага. В результате, отказ крана кольцевания подачи топлива [11].

28.01.2014 B737-800 авиакомпании «ЮТэйр». В процессе занятия исполнительного старта, экипаж обратил внимание на появившуюся

сигнализацию о неисправности ТС. Был запланирован маршрут Красноярск – Москва, однако самолет был возвращен на стоянку. Комиссия выяснила, что причиной авиационного инцидента явилась индикация неисправности топливной системы самолета.

06.03.2017 B737-500 VQ-BJO. Выполняя снижение для посадки на аэродроме назначения, экипаж увидел сигнализацию «Пожар ВСУ». Прежде всего стоит заметить, что экипаж забыл выключить ВСУ перед взлетом. Посадка была выполнена благополучно. Комиссия осмотрела ВС, были обнаружены признаки пожара в отсеке ВСУ. Были установлены причины возгорания: ввиду негерметичного соединения форсунки с камерой сгорания произошла утечка топлива, учитывая работающую ВСУ, произошло воспламенение.

28.01.2012 выполнялся рейс SU-874 по маршруту Адлер – Москва (Шереметьево), самолет А-320 VQ-BBV.

Взлет и набор высоты 9000 метров проходили нормально, однако через 21 минуту после взлета прозвучала сигнализация «ENG2 FAIL», одновременно с этим произошло самопроизвольное выключение двигателя №2. Выполнив проверку текущих параметров двигателя, экипаж приступил к попытке повторного запуска согласно QRH, однако запустить двигатель №2 не удалось. Командир запросил смену эшелона с 270 на 240, после чего снова попытался запустить двигатель.

После 4-х неудачных попыток перезапуска, экипаж приступил к анализу метеообстановки на аэродроме назначения и запасном, проверил все системы самолета. Исходя из имеющихся данных, командир решил садиться на запасном аэродроме в городе Краснодар.

Посадка была выполнена благополучно с одним работающим двигателем, освобождение ВПП и руление было выполнено без помощи тягача. Комиссией была проанализирована информация, полученная с бортового самописца, который зарегистрировал всю полетную информацию. Исходя из полученных данных, все системы самолета, в том числе двигатель №1, работали штатно, более того, выключение двигателя №2 произошло без сопровождающегося повышения

температуры, без вибраций или хлопков. Все четыре попытки перезапуска были сделаны без нарушений.

В итоге расследования комиссия обнаружила причину самопроизвольного выключения двигателя №2 – это отказ исполнительного агрегата топливной автоматики НМУ (насос-регулятор). После выполненной замены данного агрегата, самолет был допущен для выполнения дальнейших полетов без ограничений [13].

Комиссия провела расследование, в котором выяснилось, что с 2009 года произошло 6 подобных случаев. Во всех шести причиной являлся именно НМУ, а именно заклинивание командного клапана «Delta P Valve», причиной которого являлось коррозионное поражение металла.

Производитель двигателей CFM выпустил сервисный бюллетень, согласно которому все эксплуатанты, использующие топливо ТС-1, обязаны демонтировать и отправлять производителю блок НМУ при наработке 10000FH для дальнейшего восстановительного ремонта.

В сравнении ТС-1 и JET A-1, первый имеет низкую термостабильность, что привело к образованию коррозионных отложений на стенках.

15.03.2016 самолет A320-200 LZ-LAD выполнял рейс BUC-320D по маршруту Братислава – София. Взлет и набор высоты до подписанного эшелона (330) проходил штатно. На эшелоне 330 прозвучала сигнализация о низком расходе топлива двигателя №2, после чего экипаж сразу предпринял все действия согласно чеклисту. Командир запросил снижение до эшелона 250, двигатель №2 был в режиме малого газа. Выполнив снижение, экипаж проанализировал параметры самолета, оценил ситуацию и принял решение о продолжении полета в пункт назначения. Выполняя снижение для дальнейшего захода на посадку в Софии, экипаж услышал сигнализацию об отказе генератора двигателя №2, после чего произошло его выключение. Посадка была выполнена благополучно через 60 минут после возникновения первого отказа.

Данное происшествие было отнесено к серьезным инцидентам. Согласно отчету ААИУ, к основным причинам относится отказ системы управления FADEC

двигателя №2, а также нестабильный электрический сигнал на клапане дозирования топлива (FMV), из-за которого была вызвана неправильная работа системы дозирования топлива (FMU).

Комиссия по расследованию расшифровала данные бортовых самописцев, согласно которым, до высоты 1500 ft над уровнем моря, на ECAM горел предупреждающий сигнализатор о неисправности системы FADEC, согласно QRH данная сигнализация не требует никаких действий от экипажа.

В результате останова двигателя №2 на подходе к аэропорту, экипаж выключил двигатель на высоте 1100 ft, после чего благополучно совершил посадку. Буксировка и спецслужбы вызваны не были.

Блок FMU является целостным и содержит в себе 3 клапана (дозирования, наддува и отключения). Данный блок не подлежит частичному ремонту и в случае неисправности подлежит замене, что позволяет уменьшить вероятность возникновения ошибки по причине человеческого фактора [13].

После перевода двигателя №2 в режим малого газа системой FADEC, экипаж включил ВСУ, которая могла быть использована как резервный источник питания и кондиционирования.

22.05.2016 A320-200 VQ-BSH выполнял рейс SU-2342 по маршруту Москва (Шереметьево) – Ганновер. Самолет находился на эшелоне 340 восточнее Калининграда (100 nm). В это время один из пассажиров сообщил экипажу о видимой утечке топлива из люка на крыле. На борту ВС находилось 154 человека. Убедившись в том, что из топливного люка действительно наблюдаются признаки вытекания топлива, командир принял решение о вынужденной посадке.

В 12:30 МСК экипаж совершил благополучную посадку.

11.05.1990 самолет B-737-3Y0 EI-BZG выполнял рейс 143. ВС эксплуатировался в авиакомпании Филиппинских авиалиний. Самолет находился в аэропорту Манила больше двух месяцев на хранении. За это время не было произведено никаких действий с топливом на борту. В день запланированного вылета была очень жаркая погода (больше 30°C), поэтому система кондиционирования работала, было зафиксировано 45 минут непрерывной

работы. На борту самолета находилось 120 человек. 8 человек погибло в результате взрыва, который произошёл сразу после буксировки. Основная причина произошедшего по мнению комиссии – нарушение целостности проводки электрических топливных насосов центрального бака.

17 января 2008 года самолет В777, выполнял рейс ВА38. Был запланирован маршрут полета из Пекина (Китай) в Лондон (Англия). На борту самолета находилось 152 человека, из которых 16 членов экипажа. Выполняя заход на посадку в аэропорт назначения, экипаж заметил перебои в работе двигателей с последующим их остановом. Приземление было выполнено с недолетом (270 метров от торца ВПП). Погибших нет, 47 человек получили травмы.

В итоге проведенного расследования, комиссия определила причину аварии – кристаллы льда, образовавшиеся в топливе. В результате засорения теплообменника топливной системы самолета, доступ топлива к двигателям был сильно затруднен, что привело к их останову. EASA обязало компанию Boeing заменить теплообменники на всех самолетах с такими двигателями, так как в ходе собственного расследования, компания выяснила, что проблема имеет место только с двигателями Rolls Royce plc [11].

6 августа 2005 года произошла авиационная катастрофа авиалайнера ATR-72 TS-LBB авиакомпании Tuninter, выполнявшего рейс TUI1153 (Бари – Джерба). Через 50 минут после взлёта в Средиземном море (26 км от Палермо (Италия)) самолет жестко приводнился, в результате чего произошло разрушение на три части. На борту находилось 39 человек, из которых 4 члена экипажа и 35 пассажиров. В результате катастрофы погибли 15 пассажиров и 1 член экипажа, 11 человек получили ранения.

Причины катастрофы расследовало итальянское Национальное агентство по безопасности полетов (ANSV). Одной из первых предполагаемых причин была полная выработка топлива. ТС изучили, дефектов обнаружено не было, авиатопливо загрязнено не было.

При проверке журнала с техническими данными, была найдена запись экипажа о неисправности индикатора остатка топлива (состоит из 7 сегментов,

несколько из которых не отображали данные). Техники устранили неисправность, заменив прибор на другой. Однако новый индикатор применялся исключительно на ВС типа ATR-42. В итоге при реальном остатке 790 килограммов индикатор показывал 3100 килограммов. В базе данных Tuninter была ошибка, данный прибор был отмечен как подходящий для ATR-72.

Было доказано на авиасимуляторе, что экипаж бог в режиме планера (винты зафлюгированы) долететь до Палермо. Однако ввиду убеждения, что на борту достаточное количество топлива, экипаж до последнего пытался запустить двигатели, вместо того, чтобы перевести самолет в режим планера.

Окончательный отчет расследования был опубликован в январе 2008 года.

14 января 2002 года в аэропорту Омск-Центральный произошел авиационный инцидент с ВС Ту-204 RA-64011, выполнявшим рейс СБИ852 по маршруту Франкфурт-на-Майне – Новосибирск (Толмачево) авиакомпании Сибирь, в результате которого самолет совершил аварийную посадку с неработающими двигателями в Омске. Произошло выкатывание за пределы ВПП, а также повреждение нескольких фонарных столбов. При посадке не было ни пострадавших, ни погибших.

В результате запрета на посадку в аэропорту назначения (по причине погодных условий – порывы ветра), Ту-204 перенаправили на запасной в Омск. Это был единственный запасной в достигаемой зоне, в котором была таможня и разрешение на полеты для Ту-204. В процессе полета в Омск экипаж столкнулся с сильным встречным ветром. В результате, при подходе к аэропорту Омска самолет выработал все топливо и продолжил планирование после отключения всех двигателей. Учитывая запас высоты, экипаж смог выполнить посадку на ВПП аэропорта. Однако, ввиду невозможности использовать реверс, торможение выполнялось ручной системой. Повреждения самолета были незначительные, поэтому он был полностью отремонтирован и продолжил выполнение полетов.

24.08.2001 самолет A330 выполнял рейс TSC236 по маршруту Торонто – Лиссабон. ВС эксплуатировался в авиакомпании Air Transat. Данный полет вошел

в историю современной гражданской авиации, как самое длинное планирование с выключенными двигателями.

Маршрут был проложен над Атлантическим океаном, через 5,5 часов после начала полета произошел отказ обоих двигателей, причиной оказалось закончившееся топливо. На борту находилось 306 человек, из которых 13 членов экипажа. Посадка была выполнена благополучно на авиабазе Лажеш (Азорские острова). Жертв нет, 18 человек получили ранения.

Самолет проходил техническое обслуживание, которое проводили техники авиакомпании Air Transat, выполнялась замена двигателя. Ввиду недоукомплектованного нового двигателя (не хватало гидравлического насоса), главный техник принял решение, что можно установить от старой модели двигателя. Данное решение преследовали различные опасения, но желание поскорее закончить ремонт одержало верх. В результате не был соблюден установленный зазор между шлангами гидросистемы и топливной системы самолета, поэтому создавалось трение, которое привело к разрыву топливного шланга. Зазор установлен исходя из вибраций, возникающих в процессе эксплуатации. Авиакомпания выплатила самый крупный штраф в истории Канады – 250000 долларов.

2.3 Методы повышения безопасности при различных неисправностях топливных систем

03.03.2001 самолет B737-4D7 HS-TDC готовили к предстоящему полету в аэропорту города Бангкок. Работами занимались 3 техника и 5 членов экипажа, в том числе производилась дозаправка ВС. В этот день температура окружающего воздуха была прогрета более, чем на 30°C. В процессе выполнения работ на земле работала система кондиционирования, агрегаты которой расположены под центральным топливным баком. Работа данной системы сопровождается выделением большого количества тепла.

В результате взрыва пострадало 6 человек, погиб бортпроводник. Первоначально (за 27 минут до времени вылета) взрыв произошел в центральном

топливном баке, но из-за начавшегося пожара, который в итоге продлился больше 60 минут, взорвался топливный бак, расположенный в правом полукрыле. Комиссия, проводившая расследование, выдвинула основную причину произошедшего – нарушение целостности электрической проводки подкачивающего насоса центрального бака [11].

К воздушному законодательству FAR были выпущены поправки от 18.04.2001, после нескольких авиационных инцидентов, которые произошли по причине возгорания ТС, а именно: В737 (11.05.1990), В747 (17.07.1996), В737 (03.03.2001). Были выдвинуты требования по снижению концентрации паров керосина в топливных баках ВС, по предотвращению возгорания топлива – FTIP 25-102. Также требования указывали на необходимость инспекции ТС на возможность возгорания, которые применялись на большинстве современных ВС. Данные требования были изложены в поправке SFAR 21-78 (рисунок 15) [14].



Рисунок 15 – Основные требования поправки SFAR88

В ходе проведенного анализа, было выявлены основные особенности паров керосина, которые находятся в топливных баках. Так, Jet-A не представляют опасности при температуре до $+40^{\circ}\text{C}$. Данный тип авиационного топлива является основным зарубежным аналогом отечественного ТС-1. В случае снижения температуры менее $7,5^{\circ}\text{C}$ пары авиационного топлива обладают легковоспламеняющимися свойствами, что несет значительную опасность для безопасности полетов. Указанные характеристики самых распространенных

топлив, применяемых в авиации, требуется учесть при проведении технического обслуживания, а также при проектировании ТС.

Прежде всего, требуется устранить источники возможного возгорания топлива в баках, например, электрическая дуга. Подобный источник может возникнуть в результате электромагнитной индукции, электростатического электричества, нарушения целостности проводки электрических насосов, удара молнии. Вблизи топливной системы самолета не должно быть допущено трение металлов, которые могут высекать искры, что может привести к воспламенению топлива. Помимо указанных источников, необходимо учесть самовоспламенение топлива. Данный эффект имеет место без искры и других внешних источников.

Было необходимо сделать требования к ТС и её обслуживанию единообразными для всех эксплуатантов. Подобные меры помогли сделать процедуру передачи самолета эксплуатанту из другого государства более простой. Над указанными требованиями работали ведущие авиационные власти, с американской стороны – Федеральное Авиационное Управление FAA, с европейской – EASA. Все организации, которые были сертифицированы по Part – 145, занимающиеся техническим обслуживанием ВС, должны выполнять требования поправки SFAR 88, согласно которой топливная система была устойчива к двум независимым отказам. В указанной поправке были разобраны скрытые отказы, а также их последствия.

Для соответствия требованиям SFAR 88 FAA отправили письмо в компанию Boeing, которое содержало рекомендации по изменению и дополнению в процедуру проведения техобслуживания. В данном письме содержалась информация для самолетов B737 нескольких серий, а именно 700, 700C, 800, 900.

Согласно рекомендациям, было необходимо проверить электрическую проводку, которая располагалась над центральным топливным баком. Это нужно было сделать при проведении обслуживания салона ВС в данном месте. Электрическая проводка самолета не должна была иметь прямого контакта с топливными баками, не должно быть повреждения целостности проводов. Все эти

условия необходимы для предотвращения возникновения электрической дуги, которая является одним из источников возгорания топлива.

В АММ была добавлена специальная пометка о работе в опасных зонах. Техники обязаны соблюдать особую осторожность и внимательность при работе в зонах CDCCL. Были разработаны специальные методики по работе с электрической проводкой ВС, а именно ремонт электрической системы и изоляция проводов. Помимо указанного, в разработку входили специальные процедуры при техническом обслуживании, в том числе, после проведения работ в данных зонах, необходимо ставить штамп, подтверждающий, что все условия были выполнены. Ремонт проводов электрической проводки строго запрещен. Техники, которые допускались к проведению технического обслуживания в зонах CDCCL обязаны проходить обучение по одноименной программе каждые два года работы.

Для предотвращения возникновения возгорания топлива в баках, необходимо выполнить специальную доработку электрических топливных насосов, которая включает защиту от короткого замыкания. Требования включают уменьшение концентрации кислорода в топливных баках, а также систему вентиляции. Электрическая проводка должна быть изолирована, связки проводов должны быть разделены.

Таким образом, надежность агрегатов систем самолета – это одно из важнейших условий увеличения безопасности полетов. Каждый компонент, в том числе топливной системы, должен быть оценен с точки зрения надежности и отказобезопасности при проектировании, а также по результатам проведенных испытаний. Технические требования, которые предъявляются к агрегату той или иной системы ВС, задают степень необходимой надежности.

2.4 Способы улучшения ТС по надежности и отказобезопасности

Прежде всего, для улучшения ТС ВС по надежности и отказобезопасности необходимо повысить уровень резервирования (рисунок 16). Данный метод значительно увеличивает надежность объекта, резервирование может быть

реализовано не только с помощью дополнительного агрегата, но и с помощью 2-х и даже 3-х аналогичных компонентов.

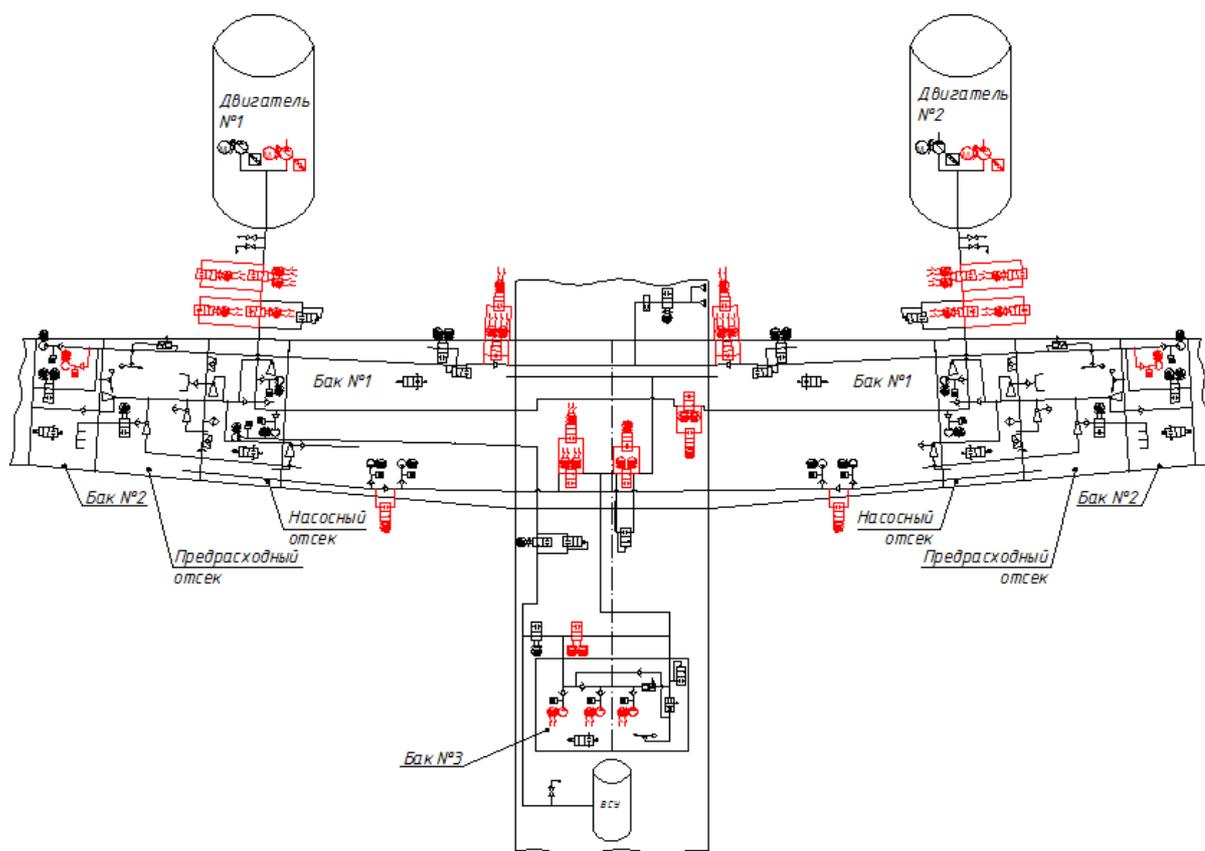
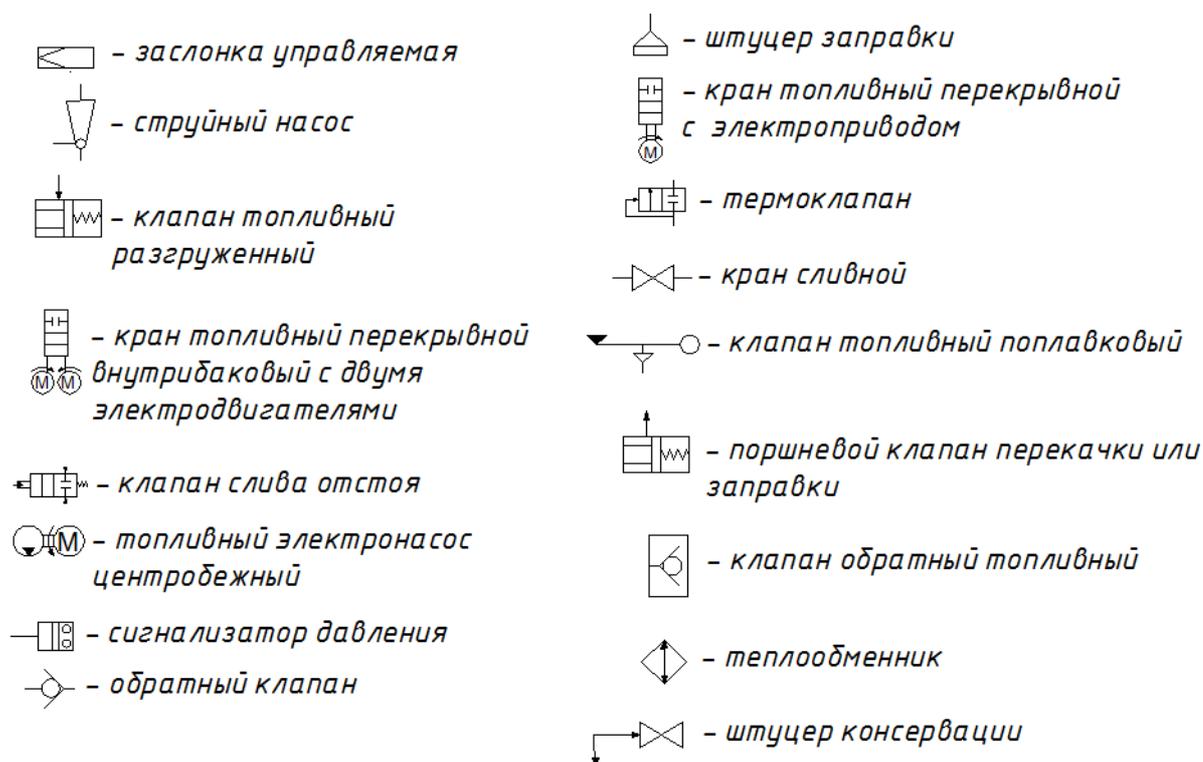


Рисунок 16 – Пример типовой топливной системы, улучшенной по отказобезопасности, где:



Предлагаемые способы увеличения надежности путем резервирования существенно улучшат ТС пассажирского самолета. В рассматриваемом случае, топливная система будет без серьезных последствий для полета выдерживать до двух отказов. Безусловно, выделяется минус подобного изменения ТС – это повышение общей массы (ориентировочно на 80-100 кг). Однако, как показывает практика, конструкторов не останавливает увеличение массы даже на сотни килограммов при резервировании (в том числе трёхкратном) других систем ВС, например, гидросистем. Подобные изменения обеспечивают высокую надежность и отказобезопасность полета современных ВС.

К другим способам улучшения ТС можно отнести: замена всех одномоторных топливных перекрывных кранов на аналогичные двухмоторные, отвечающие за систему балансирующей перекачки топлива. Установка в обоих двигателях второго насоса с регулятором. После перекрывного топливного крана в обоих полукрыльях в системе подачи топлива в двигатель установка ещё одного, но двухмоторного, оба крана сделать двух целевыми. Повышение прочности труб в топливной системе до прочности труб в системе управления рулями.

Таким образом, для обеспечения наивысшей надежности и отказобезопасности полетов, а также внедрения единых принципов, целесообразно внести требуемые изменения по ТС в нормы летной годности АП25 в раздел топливные системы, агрегаты и элементы топливной системы.

3 Анализ развития особой ситуации в полете, приведшей к катастрофе самолета Ту-154М в районе аэродрома Домодедово

3.1 Обстоятельства катастрофы самолета Ту-154М в районе аэродрома Домодедово

4.12.2010 произошла авиационная катастрофа с самолетом Ту-154М RA-85744. На борту ВС находились 171 человек, из которых 8 членов экипажа. Эксплуатантом являлась авиакомпания «Авиалинии Дагестана», планировался рейс ЮХ372, который проходит по маршруту Москва (аэропорт Внуково) – Махачкала. Экипаж ВС был опытный, командиру было 60 лет – Закоржа Магомедович Закоржаев – общий налет составлял 17384 часа, из которых на Ту-154 более 10000 часов, 8000 в качестве КВС. Командир был пилотом 1-го класса, имел свидетельство линейного пилота ГА. Второму пилоту Магомеду Багавутдиновичу Шамалову было 55 лет, к этому моменту налетал на данном типе 1150 часов, общий налет – 3111 часов. Являлся пилотом 3-го класса, имел свидетельство линейного пилота ГА. Налет штурмана и бортинженера на Ту-154 составлял 1700 и 2800 часов соответственно.

Первоначально выполнялся рейс по маршруту Махачкала – Москва тем же экипажем. После предполетного отдыха экипаж прибыл в аэропорт города Махачкала для прохождения предполетной подготовки.

В ходе подготовки к полету, было рассчитано количество топлива, которое необходимо на полет – 19000 кг. Экипаж прошел метеоконсультацию и получил информацию в АДП. Запасной аэродром – Нижний Новгород. Никаких отклонений в работе систем ВС выявлено не было, полет до пункта назначения проходил согласно стандартным процедурам, на эшелоне 10600 метров. Пилотировал второй пилот, командир выполнял функции контролирующего пилота.

Перед снижением с эшелона полета прозвучала кратковременная (10,5 секунд) сигнализация о неисправности двигателя №3. Бортинженер зафиксировал загорание сигнализатора о давлении масла в двигателе №3, однако никаких

отклонений в параметрах работы двигателя замечено не было. Более того, согласно показаниям стрелочного индикатора, давление масла в двигателе №3 было в установленных пределах (3,5).

Проанализировав ситуацию, экипаж решил, что срабатывание сигнализации было ложным, посадка была выполнена благополучно и никаких записей в бортовом журнале экипаж не сделал. Выполняя снижение в облаках, командир отметил, что есть обледенение. Однако другие члены экипажа эту информацию не подтвердили. Противообледенительная система самолета была полностью включена. После расшифровки данных МСРП, выяснилось, что датчик обледенения зафиксировал данное явление на высоте 600 метров.

После посадки экипаж приступил к подготовке к обратному рейсу, количество топлива, которое необходимо – 18500 кг, согласно расчетам экипажа. В топливных баках остаток был 7000 кг. Пройдя метеоконсультацию и получив информацию в АДП, командир принял решение на полет. На обратный рейс было выбрано два запасных аэродрома, а именно аэропорты в городе Астрахань и в городе Минеральные Воды.

Экипаж прибыл на борт самолета за полчаса до запланированного времени вылета. Самолет был заправлен, общее количество топлива – 18500 кг. В баках №3 находилось 10000 кг, в №4 – 2000 кг, в №2 – 6500 кг.

Самолет находился на стоянке №31, была выполнена процедура контрольных проверок «перед запуском». После этого, в 10:58, экипаж получил разрешение на запуск, а также код ответчика. Запуск был выполнен штатно, от вспомогательной силовой установки. На данный момент была информация АТИС, согласно которой все условия позволяли совершить вылет. В работе аэропорта Внуково полоса 24, была покрыта мокрым снегом, коэффициент сцепления 0,42. Видимость составляла 7 км, облачность сплошная 150 м.

В 11:03, после получения диспетчерского разрешения, экипаж начал руление на предварительный старт.

Через 2 минуты экипаж перешел на связь с диспетчером старта (118,3 МГц), заняв предварительный старт.

Получив информацию о схеме выхода, рабочей ВПП, а также разрешение на занятие исполнительного старта, экипаж начал выруливание. Помимо этого, диспетчер сообщил экипажу о текущих погодных условиях.

Учитывая возможное обледенение, экипаж включил ПОС, согласно РЛЭ. Активное пилотирование осуществлял второй пилот, командир был в роли контролирующего пилота, связь вел штурман.

Все радионавигационные средства были настроены без нареканий, взлет самолета, а также первоначальный набор проходил в штатном режиме.

3.2 Характеристики особых ситуаций

Усложнение условий полета (УУП) – характеризуется незначительным увеличением психофизиологической нагрузки на экипаж или незначительным ухудшением устойчивости и управляемости либо летных характеристик. Усложнение условий полета не приводит к необходимости немедленного или непредусмотренного изменения плана полета и не препятствует его благоприятному окончанию, за исключением случаев, указанных в Руководстве по летной эксплуатации.

Сложная ситуация (СС) – особая ситуация, характеризующаяся заметным повышением психофизиологической ситуации на экипаж с выходом одного или нескольких параметров полета за эксплуатационные ограничения.

Чтобы предотвратить переход сложной ситуации в аварийную или катастрофическую, нужны своевременные и правильные действия членов экипажа, в том числе по немедленному изменению плана, профиля или режима полета.

Аварийная ситуация (АС) – характеризуется значительным повышением психофизиологической нагрузки на экипаж, ухудшением летных характеристик, устойчивости и управляемости и приводит к достижению (превышению) предельных ограничений и расчетных условий.

Предотвращение аварийной ситуации в катастрофическую требует высокого профессионального мастерства членов экипажа.

Катастрофическая ситуация (КС) – это такое состояние, при котором предотвратить гибель людей практически невозможно [16].

3.3 Развитие особой ситуации в полете

Вылет в Махачкалу был произведен в 14:08 МСК. В 14:14 бортинженер начал процедуру перекачки топлива, которая продлилась всего 3 минуты. Через две минуты после начала процедуры, бортинженер заметил нестабильную подачу топлива к двигателям №1 и №3. Мгновенный расход топлива был нестабильный и доходил до 600 килограмм в час. Нормальный расход топлива в пределах 2500 – 2700 килограмм в час. Параметры оборотов двигателей, а также температура выхлопных газов были в допустимых пределах. Бортинженер выполнял перекачку в расходный бак с помощью ручного управления (положение переключателя РУЧНОЕ). К этому моменту самолет был на высоте 5800 метров. Экипаж занимал эшелон полета 9100 метров, командир принял решение остаться на нем, не продолжая набор до 10100 метров, и уменьшить режим работы двигателей [15].

В 11:17 второй пилот дал команду бортинженеру перевести переключатель в положение АВТОМАТ. Таким образом, выключение перекачки топлива произошло на высоте 7400 метров.

В 11:18 экипаж заметил разницу в показаниях авиагоризонтов второго пилота и командира (разница по крену была приблизительно $0,6^\circ$, исходя из информации МСРП). В данный момент самолет летел на автопилоте.

На высоте 7700 метров экипаж зафиксировал мигание аварийного сигнализатора о неисправности двигателя №3. После этого начал загораться и сигнализатор двигателя №1. Затем появилось предупреждающее табло о низком давлении топлива. Датчик указывает на давление топлива за насосами подкачки двигателей (сигнализация загорается при значении менее $1,6 \text{ кг/см}^2$).

На рисунке 17 показана траектория полета Ту-154М RA-85744, на котором наглядно видны места разворотов, а также переход на векторение в аэропорт Домодедово.

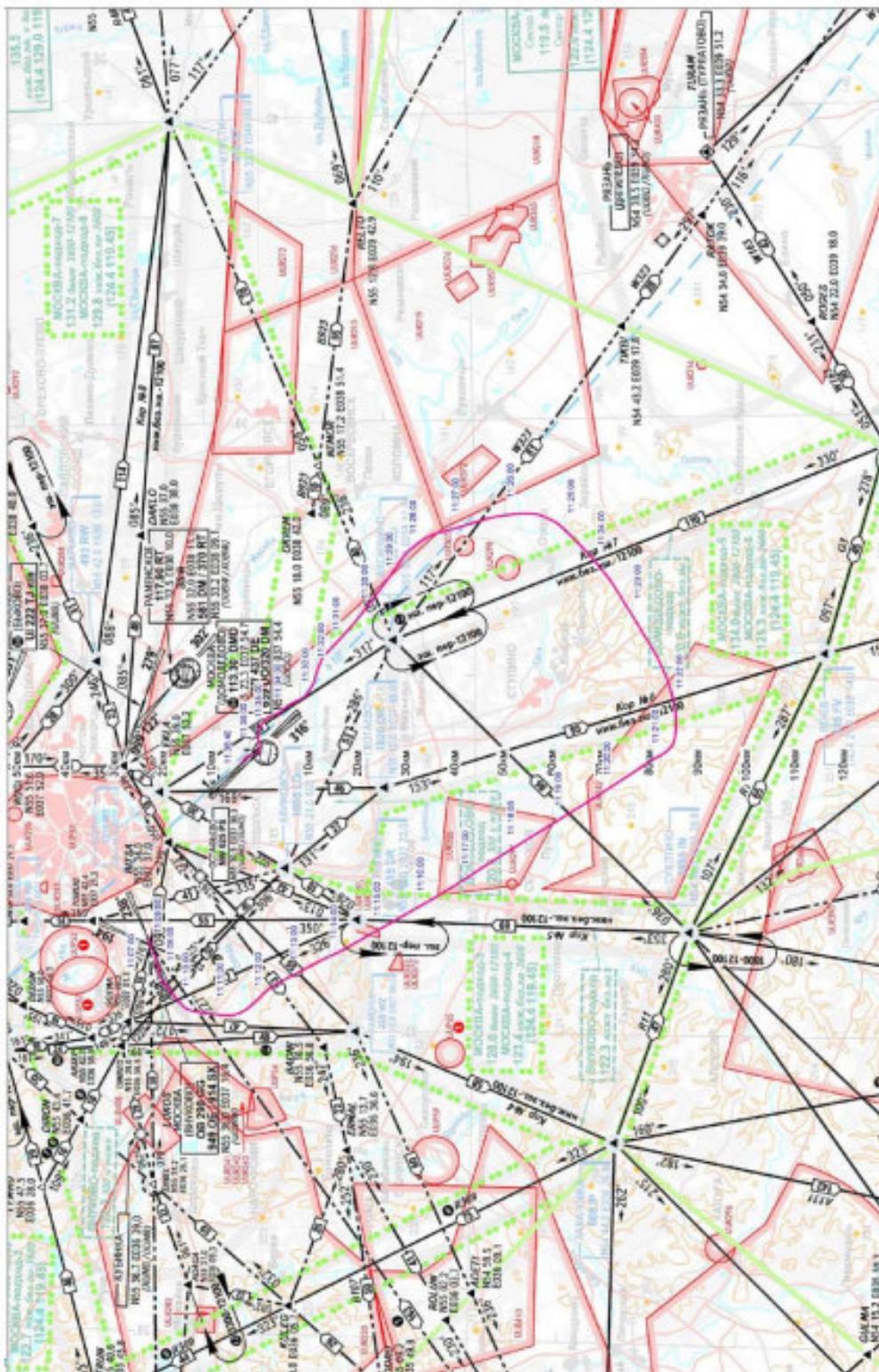


Рисунок 17 – Траектория полета ВС Ту-154М

В 11:20 самолет находился на высоте 9100 метров, на удалении 110 км от аэропорта Внуково. Экипаж запросил возвращение на аэродром вылета по причине неисправности правого двигателя. После этого произошел отказ генератора сначала двигателя №1, а затем №3.

В 11:21 был выключен автопилот, дальнейший полет выполнялся в штурвальном режиме.

Самолет Ту-154М имеет топливную систему, которая включает 6 топливных баков. Ощадная емкость составляет 39750 кг.

Самолет оснащен системой перекачки топлива, которая состоит из двух подсистем: основная и резервная (ручная). Автоматическая подсистема поддерживает в расходном баке 3150 – 3300 кг топлива, что регламентировано РЛЭ.

На рисунке 18 представлена принципиальная схема топливной системы Ту-154М, по которой можно понять расположение баков, а также направление движения топлива при перекачке.

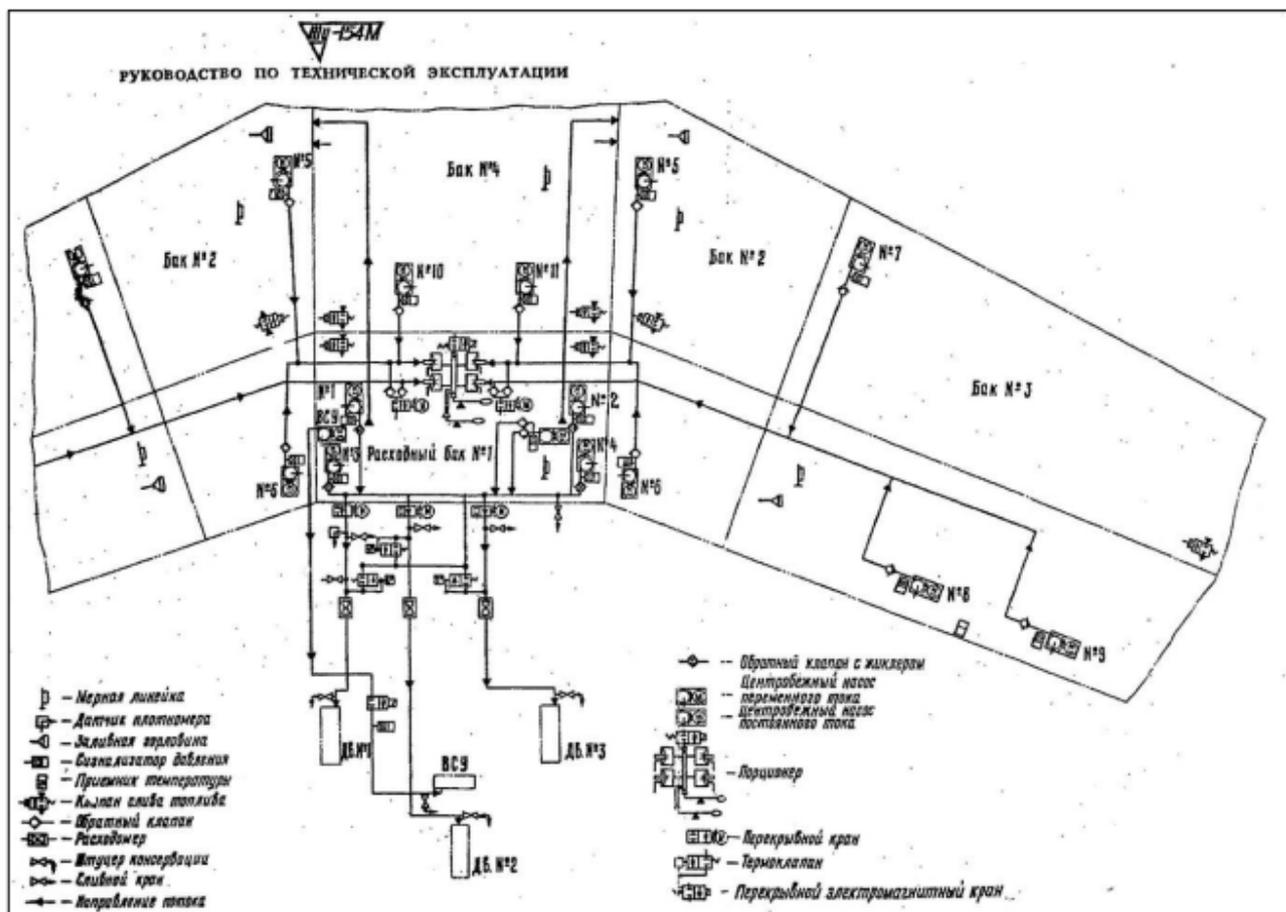


Рисунок 18 – Принципиальная схема топливной системы Ту-154М

В 11:22 начала регистрироваться неисправная работа двигателей №1 и №3, которая продолжалась до прекращения работы МСРП. Причиной стала низкая

частота вращения роторов. Давление масла падало во всех двигателях. После этого штурман доложил диспетчеру об отказе первого и третьего двигателей.

Диспетчер предложил экипажу векторение в ближайший аэропорт (Домодедово). Экипаж подтвердил готовность. В 14:23 штурман самостоятельно доложил диспетчеру о том, что курсовая система и генератор не работают. В то же время, согласно записям МСРП, курсовая система самолета продолжала работать нормально, а отказ генератора продолжался 2 минуты 23 секунды (до 14:25).

Выполнив снижение, до необходимой согласно РЛЭ высоты 3000 метров, экипаж включил ВСУ.

Командир сообщил экипажу, что посадка будет выполняться в конфигурации закрылков на 15°.

К 11:32 самолет был на высоте 450 метров, скорость 410 км/ч. Экипаж значительно отклонялся вправо от полосы. Через две минуты были выпущены закрылки на 28°, к этому моменту скорость была 320 км/ч. Снижение самолета было выполнено с высокой вертикальной скоростью (её значение доходило до 28 м/с). Самолет продолжал отклоняться от полосы.

Комиссия провела анализ психологических типов экипажа. Согласно их отчету, бортинженер проявлял импульсивность и гиперактивность в своих действиях. Данная характеристика говорит о гиперстеническом психологическом типе, что говорит о высокой отвлекаемости, а также принятии решений без глубокого анализа полетной ситуации. Бортинженер был склонен к риску и не имел критического мышления в отношении собственных ошибок.

На рисунке 19 видно, что переключатели подкачивающих насосов, находящиеся на панели бортинженера, не зарезервированы предохранительным колпачком, а также находятся в положении ВЫКЛЮЧЕНО.



Рисунок 19 – Положение переключателей подкачивающих насосов Ту-154 RA-85744

В 11:35 сработала сигнализация об угле атаки (местное значение $15,6^\circ$). Высота была 138 метров, скорость около 300 км/ч. Вплоть до приземления сигнализация АУАСП продолжала работать.

На рисунке 20 рассмотрены особенности расположения трубопроводов к двигателям №1 и №2, на котором наглядно показано, что трубопровод возвышается на 80 см на входе к двигателям.

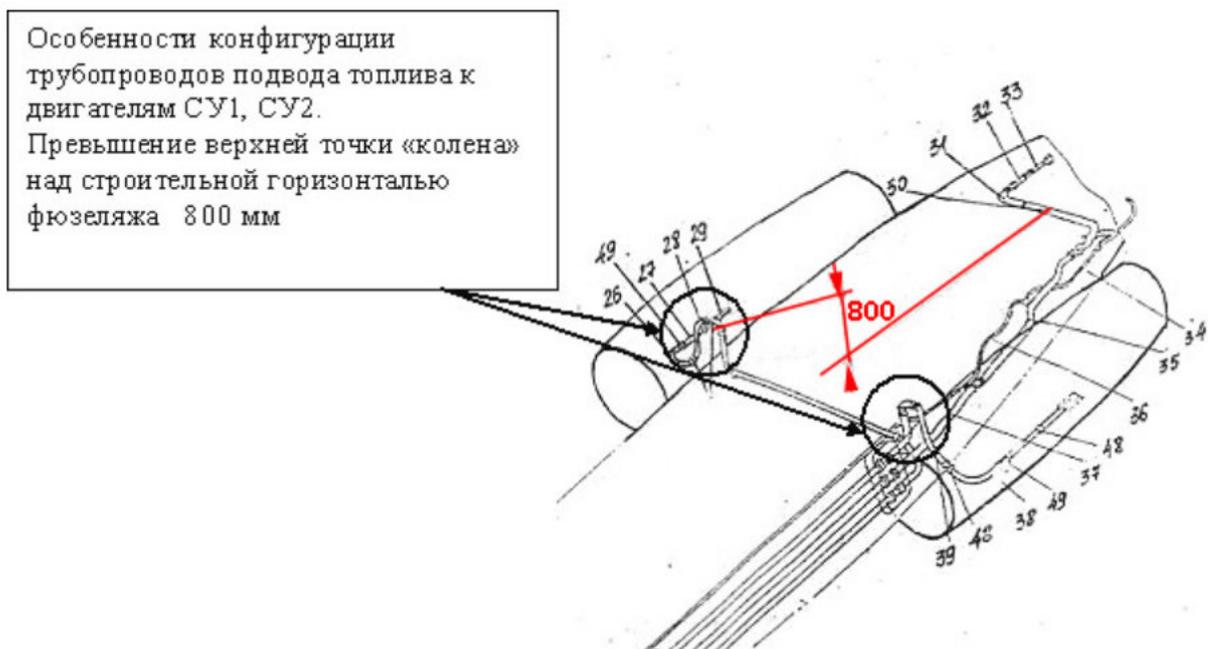


Рисунок 20 – Схема прокладки топливных трубопроводов к двигателям ВС ТУ-154М

Экипаж пытался парировать правое уклонение, создав значительный левый крен, который доходил до 32° . К 11:36 высота была 60 метром, однако диспетчер докладывал о левом клонении на 500 метров от оси и удалении 1 км. На сообщение диспетчера командир среагировал правым креном до 25° . Заход осуществлялся на полосу 32 права в аэропорту Домодедово (рисунок 21).



Рисунок 21 – Траектория полета Ту-154М в зоне КРМ

В 14:36 по Московскому времени была произведена жесткая посадка в 88 метрах правее ВПП 32R в условиях сложных метеоусловий и низкой облачности (НГО 120-150 метров). За 350 метров произошло до конца полосы касание земли. Самолет пересек ВПП и выкатился на левую боковую полосу безопасности. После столкновения с рельефом самолет разрушился на две части (в 1175 метрах от первого касания), что можно заметить на рисунке 22. Стойки шасси, а также хвостовое оперение самолета были оторваны. Значительные повреждения получила носовая часть ВС. Разрушение произошло в 9 метрах от бетонного забора аэропорта Домодедово, в 63 метрах левее оси ВПП. В результате катастрофы пожара не было.

В катастрофе получили травмы 83 человека, из которых 8 получили тяжкий вред здоровью. Погибло 2 пассажира. 86 человек не пострадали. После крушения проводилась эвакуация, которая продлилась 58 минут. Столь длительное время обусловлено тем, что аварийные трапы не сработали, выход был осложнен. Комиссия по расследованию установила, что у бортпроводников был недостаточный уровень подготовки по использованию аварийно-спасательного оборудования.

Согласно РЛЭ, ручная перекачка топлива применяется при отказе автоматической подсистемы. Таким образом, экипаж может контролировать количество топлива в расходном баке, которое будет поступать через резервные краны.

Комиссия провела расследование, в ходе которого были предоставлены возможные причины возникновения пульсаций расхода топлива, а также были выдвинуты рекомендации по методам, которые помогут недопустить возникновения подобных ситуаций в будущем.

На рисунке 22 показано разрушение самолета вблизи от бетонного ограждения аэропорта Домодедово, можно заметить, что фюзеляж ВС разрушен на две части.



Рисунок 22 – Место АП

К возможным версиям причин возникновения пульсаций мгновенного расхода топлива, а также падения давления перед насосами двигателей комиссия отнесла следующее:

- Засорение фильтров тонкой очистки по причине загрязнения авиатоплива;
- Поврежденные (рассоединённые) трубопроводы магистралей, подающих топливо к двигателям;
- Пустые расходные баки;
- Повреждение (неисправное состояние) насосов двигателей;
- Выключение или неисправность в полете подкачивающих топливных насосов расходного бака, а также системы сигнализации их работы;
- В цепях управления включением топливных насосов расходного бака отсутствовало электропитание;
- Отсутствие электропитания переменным током топливных насосов;
- Система дренажа топливных баков (приемные отверстия) была засорена;

- Сетки подкачивающих топливных насосов расходного бака, а также фильтры тонкой очистки топлива двигателей обмерзли по причине наличия воды в топливе [15].

Стоит заметить, что пульсации начали наблюдаться после набора высоты 6-7 км, а также проходило прежде всего у двигателей №1 и №3. При уменьшении экипажем режима (с 60% до 30% РУД) на высоте 9-9,5 км происходило отключение генераторов, так как наблюдался самопроизвольный провал частоты вращения РНД двигателей (№1 и №3) ниже уровня малого газа.

Данные признаки можно объяснить неработающими подкачивающими насосами расходных баков, то есть топливо поступало к подкачивающему насосу двигателя «самотеком».

Комиссией были проведены полеты на КТС Ту-154М. В ходе тестов было подтверждено, что рекомендации РЛЭ по заходу на посадку с одним работающим двигателем достаточно. Командир не проявил достаточного профессионализма при пилотировании по резервному авиагоризонту, а также растерялся при возникновении особой ситуации. В результате чего, было утеряно командование над экипажем.

3.4 Факторы опасности, влияющие на развитие особой ситуации

1. Сложности при использовании ручной перекачки топлива в наборе высоты, приведшие к непреднамеренному отключению подкачивающих насосов расходного бака.

2. Отсутствие анализа ситуации и возможности восстановления работы оборудования после включения генератора, а также ВСУ со стороны экипажа.

3. Невыполнение требований РЛЭ экипажем ВС, в которых указаны рекомендации по действиям в сложившихся в полете ситуациях. Полет с двумя неработающими двигателями, заход на посадку и посадка при одном работающем двигателе.

4. Недостаточная подготовка командира в области управления ресурсами экипажа. По этой причине был утерян контроль при сложившейся

особой ситуации в полете. Командир не давал нужных указаний другим членам экипажа, которые были необходимы для сохранения контроля над ситуацией.

5. Недостаточная подготовка экипажа по программе управления ресурсами экипажа CRM.

6. Сложности, возникшие у пилотов при пилотировании по дублирующим приборам в условиях сложных метеоусловий. Недостаточная подготовка к полету при анализе метеорологической обстановки на аэродроме вылета.

3.5 Рекомендации по повышению безопасности полетов

1. Необходимо установить предохранительные защелки (колпачки) на тумблеры включения/выключения электрических насосов. Это поможет избежать возможных случаев непреднамеренного выключения топливных насосов подкачки со стороны бортиженера;

2. Необходимо установить предупреждающую сигнализацию (янтарного цвета). На самолетах типа Ту-154 имеется уведомляющая сигнализация (зеленого цвета), которой недостаточно для своевременного определения отказа всех четырех насосов подкачки;

3. Добавить к рассмотрению вопрос о внесении дополнительных мероприятий по блокировке запуска маршевых двигателей при неработающих топливных насосах подкачки расходного бака, ввиду малой эффективности доработки ТС (бюллетень №154-1640-ДК – возможность запуска двигателей при отключенных АЗЗК-7,5);

4. Необходимо внести корректировки в режим работы аварийного насоса, который в данном случае рассматривается как резервный, при выключении четырех электрических насосов подкачки.

5. Требуется отредактировать имеющуюся Типовую инструкцию по взаимодействию и технологии работы членов экипажа самолета Ту-154. Корректировки должны затронуть контроль работы насосов подкачки расходного

бака, а именно, возможность внедрения двойного контроля положения ВКЛЮЧЕНО подкачивающих насосов при достижении высоты 5 км.

6. Рассмотреть имеющиеся программы тренажерной подготовки в отношении выполнения полета с двумя неработающими двигателями в горизонтальном полете, а также при наборе высоты. Внести необходимые корректировки, проверить достаточность рекомендаций по отработке указанных действий.

7. Обратить особое внимание на психологическую работу с членами экипажа при прохождении ВЛЭК. Рассмотреть возможность внедрения должности психолога в авиакомпании в качестве обязательного штатного сотрудника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований в данной квалификационной работе сделаны следующие выводы:

1. Разобравшись в особенностях надежности и составляющих её элементах, а также связи надежности агрегатов с техническим состоянием топливной системы современных самолетов, становится понятно, что рассмотрение надежности ТС необходимо на всех этапах жизненного цикла её объектов.

2. Рассмотрев авиационные инциденты и катастрофы, произошедшие по причине отказа авиационной техники, в том числе топливной системы ВС, сформировав статистику за 2019-2023 гг., появилось наглядное представление о роли надежности топливной системы современного ВС. За рассмотренный период из всех инцидентов, которые произошли из-за отказа авиационной техники, 5% приходится на отказы в топливной системе, что говорит о том, что ТС является фактором риска авиационных событий. Проанализировав методы увеличения надежности и отказобезопасности современных ТС, были выдвинуты предложения по дополнительному резервированию агрегатов системы (насосов, клапанов и тд).

3. Катастрофа ВС Ту-154 в районе аэродрома Домодедово произошла по причине несогласованных действий экипажа, а также из-за наличия технических недоработок в системе управления работой топливных насосов. Предложены меры повышения безопасности полетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шишмарёв, В.Ю. Надежность технических систем : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. Ю. Шишмарёв. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2018. – 306 с
2. Чернов, В.Ю. Надежность авиационных приборов и измерительно-вычислительных комплексов: Учеб. пособие / В.Ю. Чернов, В.Г. Никитин, Ю.П. Иванов ; СПбГУАП. СПб., 2004. 96 с.
3. Токликишвили А. Г. Надежность технических систем и техногенный риск: Учебное пособие. – Владивосток: Инженерная школа ДВФУ, 2019. – 65 с.
4. Баженов Ю. В. Основы надежности и работоспособности технических систем: Учебное пособие. / Ю. В. Баженов, М. Ю. Баженов. – Владимир: ВлГУ, 2017. – 267 с.
5. Зубарев Ю. М. Основы надежности машин и сложных систем: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 2-е изд. – 180 с.
6. Епифанов С. В. Авиационные топливные системы: Учебник. / С. В. Епифанов, А. И. Рыженко, Р. Ю. Цуканов. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "Харьков. авиац. ин-т", 2018. – 558 с.
7. Октябрьский, Р.Д. Управление рисками: учебн. Пособие / Р.Д. Октябрьский – Москва : Изд. дом высшей школы экономики, 2014 – 110 с.
8. Подружин, Е.Г. Конструирование и проектирование летательных аппаратов: учебное пособие для вузов / Е. Г. Подружин, В. М. Степанов, П. Е. Рябчиков ; 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 105 с
9. Кириакиди С.К. Надежность летательных аппаратов: учебное пособие / С.К. Кириакиди, В.А. Сатин : Издательство ВГТУ, 2009. – 107 с
10. Официальный сайт Федерального Агентства Воздушного Траспорта [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http:// www.favt.ru](http://www.favt.ru) (дата обращения: 16.02.2024).

11. Авиационные происшествия и инциденты [Электронный ресурс] // The Aviation Herald. Режим доступа: <https://www.avherald.com/> (дата обращения: 16.02.2024).
12. Самолет Boeing 737: Flight Crew Operations Manual : Volume 2 Revision Date: Oktober 2, 2023
13. Самолет Airbus A 320 FLIGHT CREW OPERATING MANUAL A320 Revision Date: February 1, 2024
14. Federal Aviation Administration SFAR No.88 Amendment 21-78 : ICAO 2001
15. Официальный сайт Межгосударственного авиационного комитета [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mak-iac.org> (дата обращения: 16.02.2024).
16. Карсункин, Е.В. Безопасность полетов: метод. рекомендации по изучению дисциплины / сост. Е.В. Карсункин. – УВАУ ГА(И), 2015. – 62с.