

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи

Андреев Денис Валерьевич



**Методика проектирования отечественных транспортных
вертолётов с учетом стоимости жизненного цикла
и обеспечения безопасности полёта**

Специальность: 05.07.02

«Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доцент кафедры «Проектирование вертолётов»
с.н.с., к.т.н., Артамонов Б.Л.

Москва – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	15
1.1. Анализ надёжности и безопасности полётов вертолётов гражданской авиации в России.....	15
1.2. Анализ моделей эксплуатации вертолётов гражданской авиации в России.....	21
1.3. Метод эксплуатации авиационной техники по состоянию	23
1.3.1. Бортовые системы контроля и диагностики вертолётов	25
1.3.2. Система технической эксплуатации воздушных судов «по состоянию» с использованием бортовых систем контроля.....	30
1.4. Анализ структуры стоимости жизненного цикла вертолётa	31
1.5. Обзор отечественных и зарубежных научных работ в области создания и оптимизации моделей жизненного цикла авиационной техники	33
1.6. Постановка задачи исследования	35
ГЛАВА 2. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЁЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНА ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА.....	38
2.1. Применение концепции приемлемого риска возникновения особых ситуаций при эксплуатации воздушных судов	38
2.1.1. Основные положения теории рисков.....	39
2.1.2. Управление рисками.....	41
2.1.3. Матрица рисков.....	44
2.2. Анализ отказобезопасности систем и агрегатов воздушных судов.....	45
2.2.1. Методика анализа отказобезопасности	46
2.2.2. Пример анализа отказобезопасности на этапе проектирования	48

2.3. Модель формирования плана технического обслуживания и ремонта воздушных судов на основе результатов анализа отказобезопасности	58
ГЛАВА 3. ИННОВАЦИОННЫЙ ПЛАН ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВЕРТОЛЁТНОЙ ТЕХНИКИ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	
3.1. Учет данных бортовых систем контроля в модели технической эксплуатации «по состоянию».....	69
3.2. План технического обслуживания и ремонта вертолётов на основе концепции «приемлемого риска».....	70
3.2.1. Существующий план технического обслуживания и ремонта	73
3.2.2. Предлагаемый план технического обслуживания и ремонта.....	76
3.3. Методы оценки стоимости жизненного цикла воздушного судна	79
3.3.1. Алгоритм расчета стоимости составляющих ЖЦ	80
3.3.2. Расчет стоимости жизненного цикла вертолёта Ми-171А2 при существующей и предлагаемой стратегии технической эксплуатации	87
3.3.3. Сравнительный анализ стоимости жизненного цикла вертолёта Ми-171А2 при существующей и предлагаемой стратегии технической эксплуатации.....	105
ГЛАВА 4. ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ВНЕДРЕНИИ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА.....	
4.1. Интегрированная логистическая поддержка и её применение при формировании оптимальных стратегий технической эксплуатации воздушного судна.....	108
4.2. Разработка и внедрение единой базы данных анализа логистической поддержки вертолёта Ми-171А2	112
4.3. Использование результатов анализа по отказобезопасности	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	128
Приложения	137

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АВПО	Анализ видов и последствий отказов
АЛП	Анализ логистической поддержки
АП	Авиационное происшествие
АП	Авиационное происшествие
АРЗ	Авиаремонтный завод
АРЗ	Авиа-ремонтный завод
АС	Аварийная ситуация
АТ	Авиационная техника
АТБ	Авиационно-техническая база
АТБ	Авиационно-техническая база
БД	База данных
БД АЛП	База данных анализа логистической поддержки
БП	Ситуация без последствий
БСК	Бортовая система контроля
ВПП	Взлетно-посадочная полоса
ВС	Воздушное судно
ВСК	Встроенная система контроля
ГСМ	Горюче-смазочные материалы
ЖЦ	Жизненный цикл
ЗИП	Запасные части, инструменты и принадлежности
ИЛП	Интегрированная логистическая поддержка
ИПТО	Информация по планированию технического обслуживания
КВР	Контрольно-восстановительные работы
КИ	Комплектуемое изделие
КИ	Комплектуемое изделие
КПА	Контрольно-проверочная аппаратура
КС	Катастрофическая ситуация
ЛА	Летательный аппарат
МТО	Материально-техническое обеспечение
ОКР	Опытно-конструкторская работа
ОС	Особая ситуация
ОУЭ	Ожидаемые условия эксплуатации
ПВП	Правила визуального полёта
ПО	Программное обеспечение
ППП	Правила полёта по приборам
РКД	Рабоче-конструкторская документация
РЛЭ	Руководство по летной эксплуатации

РО	Регламент технического обслуживания
САУ	Система автоматического управления
СЖЦ	Стоимость жизненного цикла
СНО	Средства наземного обслуживания
СС	Сложная ситуация
СТЭ	Система технической эксплуатации
ТМПО	Типовой минимальный перечень оборудования
ТО	Техническое обслуживание
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт
ТУ	Технические условия
ТЭ	Техническая эксплуатация
ТЭО	Техническая эксплуатация до безопасного отказа
ТЭП	Техническая эксплуатация по состоянию
ТЭР	Техническая эксплуатация по ресурсу
ТЭС	Техническая эксплуатация до предотказного состояния
УУП	Усложнение условий полёта
ЭТХ	Эксплуатационно-технические характеристики

ВВЕДЕНИЕ

Применяемая в настоящее время система технического обслуживания и ремонта вертолётной техники основана на концепции назначенного ресурса, что влечет за собой большие трудоемкости выполнения работ и, как следствие, увеличение затрат на содержание вертолётной техники, что приводит к высокой стоимости жизненного цикла. Однако анализ показывает, что применение стратегии эксплуатации АТ по состоянию позволяет значительно сократить расходы на её эксплуатацию, а так же повысить межремонтный ресурс. Такой подход позволяет более эффективно использовать парк вертолётов – меньшее количество машин будет простаивать при проведении капитальных ремонтов в АТБ и на АРЗ, что, в конечном счете, положительно скажется на стоимости летного часа ВС.

Реализация на вертолётной технике метода эксплуатации по состоянию возможна только при комплексном подходе к данной проблеме:

- внесение изменений в его конструкцию и регламенты технического обслуживания;
- изменение модели обмена информацией между разработчиком ВС, производителем и эксплуатирующей организацией;
- урегулирование организационно-правовых аспектов эксплуатации ВС.

Совершенствование методологии проектирования вертолётов должна быть направлена на изменение классического, устоявшегося подхода к процессу создания ВС. Новая методология предусматривает итерационный процесс проектирования самого изделия и системы его технической эксплуатации. При этом производится оценка стоимости ЖЦ конечного изделия. Предлагаемый процесс проектирования ориентирован на поиск оптимальной конфигурации разрабатываемой конструкции изделия, по критерию стоимости ЖЦ. Основным ограничением является необходимая и достаточная надёжность изделия, обеспечивающая требуемый уровень безопасности полётов.

Одним из вариантов снижения стоимости ЖЦ вертолёта является разработка системы оперативного контроля технического состояния обеспечивающая

снижение расходов на его эксплуатацию, упрощение процесса поиска неисправностей и повышение коэффициент готовности ВС к вылету.

Для того, чтобы оставаться конкурентоспособным на рынке вертолётных услуг, помимо снижения стоимости вертолёта следует уделять внимание концепции его эксплуатации. Это обусловлено тем, что примерно ~50% стоимости ЖЦ вертолёта приходится на период эксплуатации. Расходы на его содержание напрямую зависят от ценовой политики обслуживания и величины межремонтного ресурса, которые в свою очередь, определяются на этапе проектирования.

В этой связи важным является вопрос обеспечения должного уровня безопасности полётов. Новая концепция ТОиР вертолёта, выбор систем эксплуатируемых по состоянию, оценка безопасности полётов, оценка последствий при возникновении отказов должна быть основана на концепции «приемлемого риска». Расчет показателей должен осуществляться с помощью анализа отказобезопасности.

В целом, новый подход к проектированию и разрабатываемая концепция ТОиР позволят снизить затраты на эксплуатацию и повысить уровень эксплуатационной технологичности вертолётов.

Актуальность темы

Для решения стратегических задач развития отечественного вертолётостроения сформирован ряд требований, а именно:

1. Снижение себестоимости эксплуатации вертолётов.
2. Повышение уровня безопасности полётов вертолётов.
3. Повышение уровня готовности вертолётов к вылету.
4. Повышение конкурентоспособности вертолётов отечественной разработки на мировом рынке.
5. Обеспечение стабильной загрузки производственных мощностей серийных и ремонтных заводов.
6. Расширение рынков сбыта.

Одной из основных задач в деятельности любого предприятия является снижение себестоимости. Предлагаемый подход к проектированию позволит создавать конструкции вертолётов, отвечающие требуемому уровню безопасности полётов. Переход на ТОиР по состоянию позволят снизить себестоимость эксплуатации и сократить трудоемкость выполнения плановых работ при обеспечении

Суть проблемы.

В настоящее время парк отечественных вертолётов эксплуатируется по стратегии ТОиР по ресурсу. Основным недостатком такого метода является большая трудоемкость при выполнении ТОиР, а так же высокая стоимость капитальных ремонтов. Однако, как показывает практика, некоторые работы планового ТО можно сократить, а при капитальных ремонтах выполнять замену только тех агрегатов, состояние которых по результатам диагностики не соответствует заданным параметрам.

Зарубежом активно применяются стратегии сервисной поддержки АТ, ориентированные на конечный результат. Такие стратегии называются Performance Based Lifecycle Product Support или PBL-контракты [73]. Они предусматривают различные стратегии ЖЦ ВС и соответственно предлагают разный пакет сервисных услуг. Для получения максимальной прибыли необходимо разрабатывать разные стратегии эксплуатации и предлагать к ним разные стратегии сервисного обслуживания [34].

Необходимость решения.

Любой эксплуатант ВС, будь то коммерческая или государственная организация, стараются минимизировать свои затраты. При выборе нового типа ВС главными вопросами являются его цена и стоимость эксплуатации. Очевидно, что высокая цена и стоимость эксплуатации сделают ВС неконкурентоспособным. Следовательно, в условиях рыночной экономики для получения прибыли разработчику ВС важно предусмотреть возможные затраты на эксплуатацию еще на этапе его разработки, что позволит внедрить оптимальные проектно-конструкторские решения на ранних стадиях проектирования.

Степень проработанности темы

Классический подход к проектированию ВС, описанный в работах [8, 45, 49, 61, 74] дополняется методологией, которая использует методы интегрированной логистической поддержки изложенные в трудах Судова Е.В. [62, 89]

Для определения стратегии ТОиР, выбора оптимального состава работ используются труды Смирнова Н.Н., Ицковича А.А., Жмеренецкого В.Ф., Полуляха К.Д., Акбашева О.Ф., Гипича Г.Н. и др., описывающие теоретические наработки в области ТОиР авиационной техники [39, 86-87].

При расчетах применялись современные международные стандарты, методики и руководства [53, 71, 76-78, 97].

Для оценки текущего уровня надёжности конструкции вертолётов и достигнутого уровня безопасности полётов использовались статистические данные по безопасности полётов вертолётов [37-38, 58, 67, 104].

При написании работы используются и анализируются тенденции развития отечественного и зарубежного вертолётостроения, изложенные в открытых источниках, анализируются научные работы в этой области, в том числе и иностранные [9-10, 16, 40, 42, 48, 82, 103].

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются гражданские вертолёты отечественного производства. Предметом исследования являются части ЖЦ вертолёта – этапы разработки и эксплуатации.

Цель работы

Цель работы - разработка методики проектирования отечественных транспортных вертолётов с учетом стоимости жизненного цикла и обеспечения безопасности полёта.

Работа направлена на изменение существующей методологии проектирования вертолёта и разработки концепции формирования плана ТОиР.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ уровня безопасности полётов и достигнутых показателей надёжности парка отечественных транспортных вертолёт, находящихся в эксплуатации.

2. Провести количественный анализ существующей модели технической эксплуатации вертолёт и оценить трудоемкость выполнения оперативных и регламентных форм обслуживания.

3. Провести оценку отказобезопасности функциональных систем вертолёт на стадии проектирования.

4. Применить концепцию «приемлемого риска» на этапе проектирования вертолёт при формировании плана технического обслуживания.

5. Разработать программу ТОиР вертолёт на основе стратегии технической эксплуатации «по состоянию».

6. Оценить экономическую эффективность перехода на предлагаемую систему ТОиР вертолёт.

7. Разработать концепцию внедрения технологии интегрированной логистической поддержки в практику отечественного вертолётостроения на различных этапах ЖЦ ЛА.

При решении поставленных задач, в качестве основного ограничения принято сохранение уровня безопасности полётов гражданских вертолёт по показателю коэффициента числа катастроф на сто тысяч часов налета K_{100000} .

Научная новизна работы

В практике отечественного вертолётостроения:

1. Применена концепция «приемлемого риска» для этапов разработки и эксплуатации вертолёт.

2. Применен анализ отказобезопасности, совмещенный с теорией рисков. Используется для подтверждения соответствия вертолёт требованиям норм лётной годности.

3. Установлена алгоритмическая связь между уровнем надёжности функциональных систем и конечной стоимостью жизненного цикла вертолёт.

4. Для вновь созданных вертолётов Ми-171А2 и Ми-38-2:

5. Разработана программа технического обслуживания и ремонта для модели технической эксплуатации «по состоянию».

6. Разработана структура информационной базы данных. На примере вертолёта Ми-171А2 разработана единая для разработчика, изготовителя и эксплуатанта база данных мониторинга технического состояния, а также модель взаимодействия пользователей базы данных из различных организаций.

7. Расчетным путем показана экономическая эффективность перехода на новую концепцию проектирования и разработки программ ТОиР вертолётов.

Теоретическая значимость работы

1. Применяемая концепция «приемлемого риска» и анализ отказобезопасности функциональных систем вертолёта позволяют:

- Научно обосновать переход от постулата «абсолютной безопасности» («нулевого» риска) к принципам «приемлемой безопасности»,
- оценить на этапе проектирования по критерию безопасности полётов недостатки в конструкции вертолёта,
- дать количественную оценку экономической эффективности применения технической эксплуатации вертолёта по состоянию.

2. Разработан единый алгоритм выбора метода технической эксплуатации для любых комплектующих изделий входящих в состав вертолёта.

3. Использование технологий ИЛП позволяет создать единое для разработчика, производителя и эксплуатанта информационное поле, являющееся основой для практического применения полученных данных при разработке новых и модернизации имеющихся типов вертолётов.

Практическая значимость работы

1. Стратегия технической эксплуатации «по состоянию» приведет к снижению трудоемкости ТОиР, а следовательно, и стоимости владения вертолётом.

2. Применение концепция «приемлемого риска» не приведет к снижению

уровня безопасности полётов созданных и вновь проектируемых вертолётов.

3. Системный подход к процессу проектирования вертолёта позволит сократить срок разработки новых вертолётов за счет сокращения периода доводки ВС и переналадки оборудования на производстве.

4. Снижение стоимости эксплуатации отечественных вертолётов повысит их конкурентоспособность на мировом рынке.

Методология и методы исследования

В работе применяются следующие методологические подходы:

1. Концепция «приемлемого риска». Закладывается в основу проектирования конструкции вертолёта, оптимальной по критерию обеспечения безопасности полётов и отказоустойчивости его функциональных систем и агрегатов.

2. Принципы системного инжиниринга. Используются при планировании работ по проектированию вертолёта.

3. Технологии интегрированной логистической поддержки. Используются при формировании информационной базы эксплуатируемых вертолётов и поиска оптимальной системы технической эксплуатации.

Методы исследования:

1. Анализ отказобезопасности. Применяется в процессе проверки систем вертолёта на соответствие требованиям безопасности на этапе разработки.

2. Расчет периодичности обслуживания проводится по современным отечественным стандартам планирования ТОиР и стандарту MSG-3.

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты анализа безопасности полётов гражданских вертолётов марки «МИ» по результатам их эксплуатации.

2. Результаты анализа отказобезопасности бортовых систем контроля вертолётов на различных этапах проектирования.

3. Способы применения концепции «приемлемого риска» на различных этапах жизненного цикла вертолёта.

4. Алгоритм выбора метода технической эксплуатации систем и агрегатов вертолѐта

5. План мероприятий (дорожная карта) перехода на предлагаемую модель технической эксплуатации «по состоянию» для вертолѐтов:

- с упрощенными бортовыми системами контроля (Ми-8АМТ/Ми-8МТВ);
- с высокоинтегрированными бортовыми системами (Ми-171А2 и Ми-38-2).

6. Результаты сравнительного анализа стоимости жизненного цикла вертолѐтов при существующей и предлагаемой стратегии их технической эксплуатации.

7. Структура и состав информационной базы данных вертолѐта Ми-171А2.

Степень достоверности и апробация результатов:

1. Разработанная стратегия эксплуатации ТОиР «по состоянию» основанная на концепции «приемлемого риска» опробованна в АО «ЮТэйр-Инжиниринг» при эксплуатации вертолѐта Ми-171А2 №22880 в период с декабря 2018 г. по август 2019 г. Налѐт вертолѐта за подконтрольный период составил более 300 час. Отказов систем и агрегатов эксплуатируемых «по состоянию» не отмечено.

2. Разработанная единая информационная база данных вертолѐта Ми-171А2 внедрена на предприятиях холдинга «Вертолѐты России» и в АО «ЮТэйр-Инжиниринг». Сервер базы данных установлен в АО «МВЗ им. М.Л. Миля» (пос.Томилино, Московская область), к ней в режиме «он-лайн» подключен АО «У-УАЗ» (г.Улан-Удэ, респ. Бурятия). Третьим участником ЖЦ вертолѐта является эксплуатирующая организация в лице АО «ЮТэйр-Вертолѐтные Услуги» (г.Тобольск) и АО «ЮТэйр-Инжиниринг» (г.Тюмень). Пополнение базы данных АО «МВЗ им. М.Л. Миля» осуществляется путем передачи обменных файлов, содержащих информацию о ходе эксплуатации вертолѐтов в эксплуатирующей организации.

3. При разработке вертолѐта Ми-171А3 применен процесс оценки безопас-

ности систем на ранней стадии проектирования. На основании результатов предварительной оценки отказобезопасности сформированы требования к вновь разрабатываемой составной части вертолѐта. Эти требования включены в техническое задание на разработку изделия.

ГЛАВА 1. МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

1.1. Анализ надёжности и безопасности полётов вертолётной гражданской авиации в России

Безопасность полётов - важнейшее условие функционирования авиационной системы, направленное на обеспечение выполнения полётов в заданных условиях эксплуатации без авиационных происшествий. Вопросы обеспечения безопасности полётов всегда были и остаются приоритетными задачами в авиационной промышленности. Необходимо отметить, что безопасность полётов, как структурное свойство авиационной системы, закладывается уже на этапе создания ВС, но находит свое материальное воплощение на этапе его эксплуатации. Проведение анализа АП за определенный период эксплуатации, выявление опасных факторов и причин АП, разработка мероприятий по устранению выявленных факторов являются основными направлениями повышения безопасности полётов в авиационной отрасли РФ [43, 64].

В соответствии с [65] АП – это событие, связанное с лётной эксплуатацией воздушного судна, которое привело к гибели либо серьёзным травмам какого-либо лица (лиц), существенному повреждению либо утрате этого воздушного судна.

Авиационные события подразделяются на:

- авиационные происшествия (катастрофы) — авиационное происшествие с человеческими жертвами;
- авиационные инциденты — событие, связанное с лётной эксплуатацией воздушного судна, которое могло создать или создало угрозу целостности воздушного судна и (или) жизни лиц, находящихся на его борту, но не закончилось авиационным происшествием (происшествия без человеческих жертв).

Всесторонний анализ безопасности полётов проводится с целью изучения причин и факторов АП. В работе проведен и представлен сравнительный анализ по общим критериям безопасности полётов, таким как риск смертельного ранения и коэффициент катастроф на сто тысяч часов налёта. Систематизированы причины авиационных происшествий.

1. Риск смертельного ранения (РСР), который описывается по формуле:

$$РСР = \frac{K+A}{H} \times \frac{\Pi}{B}, \quad (1.1)$$

где K – количество катастроф,

A – количество аварий,

H – суммарный налёт парка вертолётов за рассматриваемый период,

B – количество человек на борту,

Π – количество погибших.

2. Коэффициент K_{100000} . Определяет число катастроф на сто тысяч часов налета ВС.

$$K_{100000} = \frac{K}{H} \times 100000 \quad (1.2)$$

Одной из задач разработчика ВС в части обеспечения безопасности полётов является анализ причин происшествий и разработка мероприятий по их устранению. Необходимо наблюдать за трендами изменений статистических данных и вовремя реагировать на их снижение.

В таблице 1.1 для вертолётов семейства Ми-8 (Ми-8, Ми-8Т, Ми-8П, Ми-8ПС) и Ми-8АМТ/Ми-8МТВ представлены сводные данные показателей безопасности, где I – количество инцидентов. Как видно из таблицы, общий тренд РСР для двух типов вертолётов снижается по годам эксплуатации.

Результаты анализа причин возникновения катастроф и инцидентов показывают (Рисунок 1.1 и 1.2):

1. По причине отказов авиационной техники произошло 63% инцидентов и 15% катастроф;

2. По причине человеческого фактора произошло 32% инцидентов и 80% катастроф;

3. Внешние причины привели к 5% инцидентов и катастроф.

Отсюда следует, что разработчик ВС может влиять только на уменьшение причин, вызванных отказами техники.

Таблица 1.1 – Анализ безопасности полётов вертолётов семейства Ми-8 и Ми-8АМТ/Ми-8МТВ

Период	Н	К	А	И	П	Б	K_{100000}	РСР
Ми-8								
1994-2003	1 687 340	21	54	781	136	791	1,24	$0,76 \cdot 10^{-5}$
2004-2013	2 694 949	18	25	624	104	460	0,67	$0,36 \cdot 10^{-5}$
2005-2014	2 698 053	17	18	634	87	377	0,63	$0,30 \cdot 10^{-5}$
2006-2015	2 729 712	19	17	664	102	423	0,70	$0,30 \cdot 10^{-5}$
Ми-8АМТ, Ми-8МТВ								
1994-2003	229 380	6	3	128	38	90	2,62	$1,66 \cdot 10^{-5}$
2004-2013	628 965	8	3	261	67	109	1,27	$1,08 \cdot 10^{-5}$
2005-2014	659 626	8	4	287	59	116	1,21	$0,93 \cdot 10^{-5}$
2006-2015	688 522	8	4	312	59	134	1,16	$0,77 \cdot 10^{-5}$



Рис. 1.1 – Причины авиационных катастроф

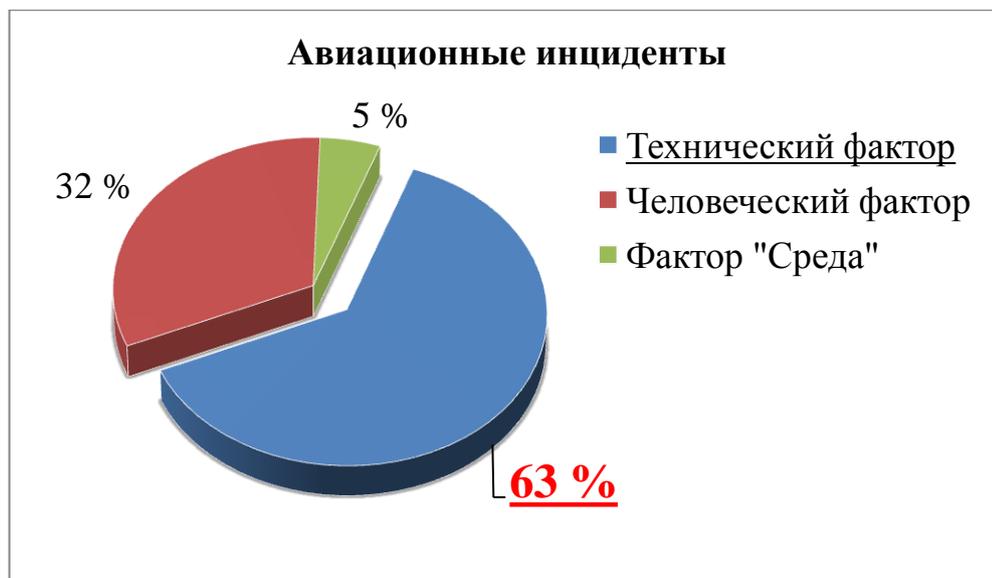


Рис. 1.2 – Факторы авиационных инцидентов

Несовершенство принятых в настоящее время подходов заключается в том, что ко всем показателям безопасности полётов относятся как к статистическим параметрам, на которые нельзя влиять. В главе 2 рассматривается иной подход к данным показателям. Предлагается концепция «приемлемого риска» и методы снижения уровня технических рисков. Основополагающим элементом в концепции «приемлемого риска» является анализ надёжности. Многолетний опыт эксплуатации вертолётов дает ценную базу данных по безотказности каждого его агрегата и комплектующего изделия. Результаты анализа надёжности используются в качестве исходных данных при проведении анализа отказобезопасности.

Надёжность это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, ТО, хранения и транспортировки. Стоит понимать, что надёжность является комплексным свойством, которое включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. При этом безотказность – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки [22].

Безотказность агрегатов и систем вертолёта отражается в показателях надёжности. К одним из них относится T_C – средняя наработка на отказ и повре-

ждение, определяется по формуле 1.3. Этот показатель является нормируемым, его значение задается как $T_C^{\text{НОРМ}}$ и определяется в соответствии с нормами надёжности и задаются в ТУ на изделие (агрегат или блок) и на вертолёт в целом. Достигнутые по результатам эксплуатации показатели $T_C^{\text{ЭКСП}}$ должны быть не ниже нормируемых значений $T_C^{\text{НОРМ}}$ заданных в ТУ на изделие.

$$T_C^{\text{ЭКСП}} \geq T_C^{\text{НОРМ}}$$

$$T_C = \frac{T_i}{m_i} \quad (1.3)$$

где T_i – суммарный налёт парка вертолётов за рассматриваемый период,

m_i – количество отказов, выявленных за рассматриваемый период.

Порядок сбора информации о надёжности из эксплуатирующих организаций и передача этой информации разработчику ВС определен в [15, 67]. Информация поступает в виде карточек учета неисправностей, обрабатывается и заносится в базу данных. Аналитический расчет эксплуатационной надёжности выполняется в соответствии с [52, 54, 59], а полученные значения сравниваются с заданными значениями в ТУ. В случае выявления трендов на снижение уровня надёжности выясняются причины и разрабатываются мероприятия по их устранению.

На рисунке 1.3 для вертолётов «Ми» показано распределение по годам относительного показателя $\overline{T_C}$. Показатель выражен в безразмерной величине, показывающий превышение нормируемого показателя и определяется по формуле 1.4. Линия аппроксимации описана экспоненциальной функцией и показывает тренд распределения показателя $\overline{T_C}$ по годам. Определяется по формуле 1.5.

$$\overline{T_C} = \frac{T_C}{T_C^{\text{НОРМ}}} \quad (1.4)$$

$$y = a \times e^{(b \times x)} \quad (1.5)$$

где: a и b – константы, x – номер периода.

Анализируя график на рис. 1.3 можно сделать следующие выводы о характеристике надёжности для вертолёта в целом:

1. Достигнутые показатели надёжности превышают заданные в 3,5-5 раз.

2. Тренд увеличения \overline{T}_C носит постоянный характер, что соответствует нормальному закону распределению отказов.

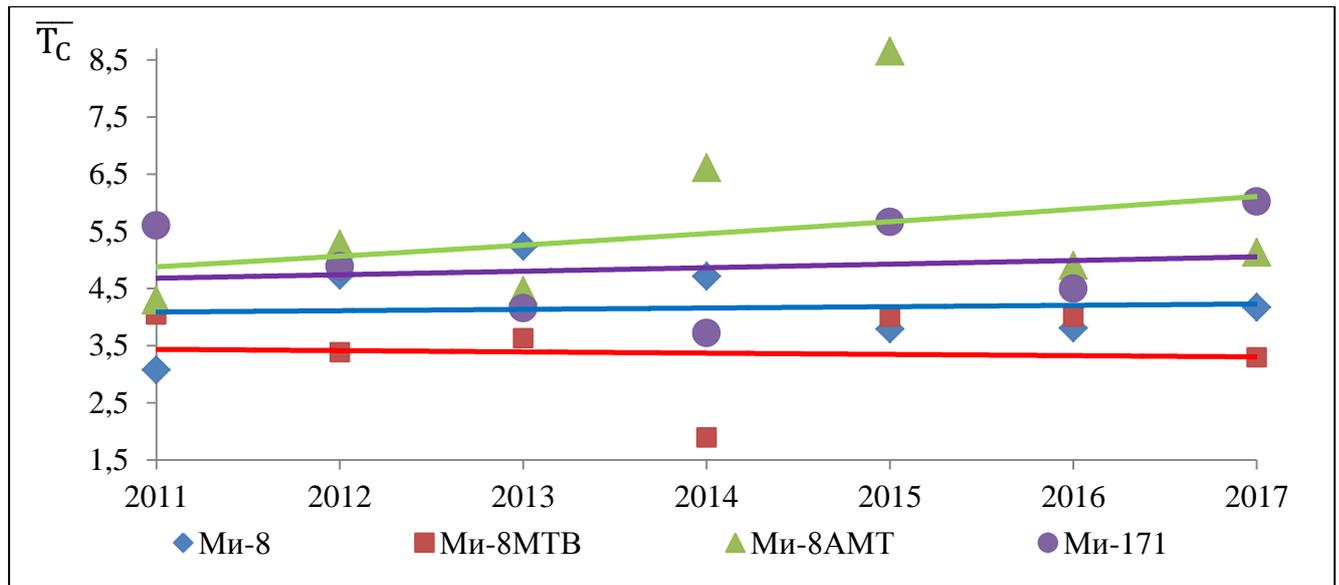


Рис. 1.3 - Распределение показателя \overline{T}_C по годам

Дальнейший анализ надёжности состоит из оценки уровня показателей надёжности по функциональным системам вертолёта с последующим анализом каждого изделия (блока, агрегата) из состава каждой системы.

В зависимости от основных причин возникающих отказов и характера изменения их интенсивности по времени в течении ЖЦ изделия его можно разделить на три периода (рис. 1.4)

Первый период ЖЦ ($t < t_1$). Отказы, возникающие в начальном периоде эксплуатации из-за дефектов производства, называются приработочными, так как они возникают и устраняются в период приработки.

Второй период ЖЦ ($t_1 < t < t_2$) называется период нормальной эксплуатации. В этот период могут возникать отдельные отказы, вызванные различными случайными факторами. Интенсивность отказов λ при неизменных условиях эксплуатации изделия сохраняется примерно постоянной ($\lambda = \text{const}$).

Третий период ЖЦ ($t_2 > t$) связан со старением изделия. Начало третьего периода и крутизна возрастания интенсивности отказов зависят от условий эксплуатации, совершенства конструкции и технологии изготовления.

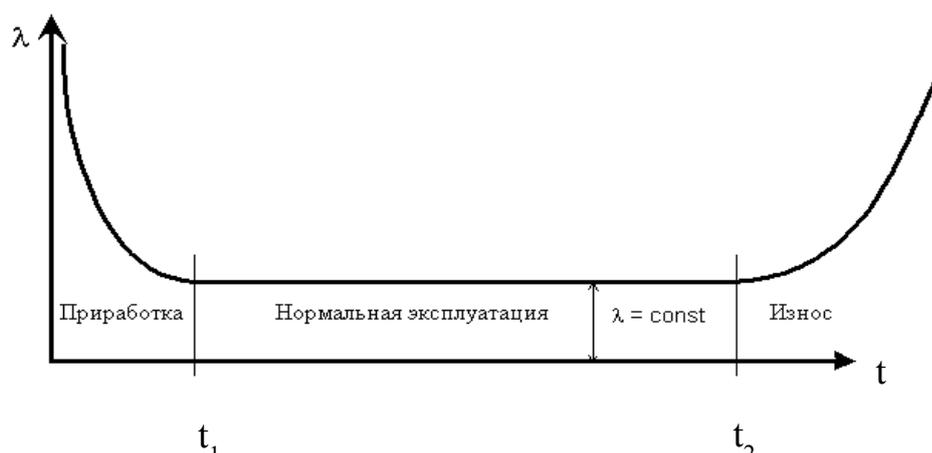


Рис. 1.4 - Зависимость интенсивности отказов от времени

Для многих изделий в течение значительной части жизненного цикла можно считать интенсивность отказов постоянной. Такой закон называется экспоненциальным. Этот закон используется в основном для описания второго периода жизненного цикла изделия, в течение которого возникают отдельные внезапные отказы, не связанные со старением изделия.

По закону Вейбула, в период нормальной эксплуатации интенсивность отказов λ_i носит постоянный характер и практически не меняется по времени, при этом отказы носят случайный характер. Интенсивность отказов – величина обратная от средней наработки на отказ и повреждение. Для вычисления используется формула 1.6.

$$\lambda_i = \frac{1}{T_c} \quad (1.6)$$

Зная показатель T_c на каждое изделие, можно вычислить его λ_i которая используется в расчетах при проведении анализа отказобезопасности.

1.2. Анализ моделей эксплуатации вертолётов гражданской авиации в России

Постоянное поддержание АТ в исправном состоянии и безотказном применении по назначению достигается не только знанием ее в совершенстве, но и умением организовывать и проводить эксплуатацию.

Эксплуатация является важнейшим этапом ЖЦ изделия. Эксплуатация АТ – это стадия ЖЦ с момента ее принятия войсковой частью или авиакомпанией от

завода-изготовителя или ремонтного завода до отправки в ремонт или списания, являющаяся совокупностью этапов:

- ввода в эксплуатацию;
- приведения в установленную степень готовности к использованию по назначению;
- поддержания в установленной степени готовности к вылету;
- хранения;
- транспортирования;
- утилизации.

Под СТЭ АТ понимают совокупность изделий АТ, личного состава, средств эксплуатации и ремонта, эксплуатационной и ремонтной документации, взаимодействие которых происходит в соответствии с задачами каждого этапа эксплуатации в зависимости от условий и метода эксплуатации. Она включает в себя летную и техническую эксплуатацию АТ.

Летная эксплуатация представляет собой совокупность процессов управления ВС и его системами на всех этапах полёта. Осуществляют летную эксплуатацию экипажи ВС совместно с наземными расчетами управления полётами.

Техническая эксплуатация необходима для поддержания и восстановления исправности и работоспособности АТ на земле и в полёте.

Она включает в себя:

- подготовку к применению и технически правильное применение АТ;
- организацию выполнения работ по бюллетеням;
- ремонт;
- транспортирование;
- хранение и утилизацию АТ.

Значимым элементом СТЭ является совокупность летной и технической эксплуатации, называемой лётно-технической эксплуатацией. Она заключается в выборе и поддержании оптимальных режимов работы АТ в полёте и на земле. В процессе эксплуатации на АТ воздействуют агрессивные факторы окружающей среды, нерациональные действия летного и технического состава. В результате

воздействия этих факторов в ВС ускоряются деградационные процессы, ухудшающие его тактико-технические характеристики и приводящие в конечном счете к нарушению работоспособности и отказу. В свою очередь, некоторые отказы перерастают в авиационные происшествия.

Для того чтобы частично или полностью компенсировать воздействия агрессивных факторов инженерно-технический состав использует средства технического обслуживания и ремонта, проводит работы по ТОиР ВС.

Техническое обслуживание – это комплекс операций по поддержанию работоспособности или исправности АТ при использовании по назначению.

Хранение АТ – это этап эксплуатации, при котором неиспользуемая по назначению АТ содержится в отведенном для ее размещения месте в заданном состоянии и обеспечивается ее сохранность в течение установленного срока [19].

Стратегия технической эксплуатации определяется совершенством конструкции ВС, заложенными в него эксплуатационно-техническими характеристиками и прилагаемой к нему эксплуатационной и ремонтной документации.

В соответствии с [60] существует три системы эксплуатации:

1. ТЭР – техническая эксплуатация по ресурсу;
2. ТЭП – техническая эксплуатация до предотказного состояния;
3. ТЭО – техническая эксплуатация до безопасного отказа.

Вертолётам отечественного производства документацией определена система эксплуатации по ТЭР. Однако, техническое совершенство современных отечественных вертолётов позволяет отказаться от применяемой СТЭ ВС и перейти на систему эксплуатации по состоянию. Это позволит повысить эффективность использования процессов технической эксплуатации ВС.

1.3. Метод эксплуатации авиационной техники по состоянию

В соответствии с [33] стратегия ТОиР представляет собой систему правил управления техническим состоянием изделия в процессе технического обслуживания и ремонта. Стандартизованы следующие стратегии обслуживания:

- по наработке - при которой перечень и периодичность выполнения опера-

ций определяются значением наработки изделия с начала эксплуатации или после капитального (среднего) ремонта;

- по состоянию - при которой перечень и периодичность выполнения операций определяются фактическим техническим состоянием изделия в момент начала технического обслуживания;

и стратегии ремонта:

- по наработке - при котором объем разборки изделия и дефектации его составных частей назначается единым для парка однотипных изделий в зависимости от наработки с начала эксплуатации и (или) после капитального (среднего) ремонта, а перечень операций восстановления определяется с учетом результатов дефектации составных частей изделия;
- по техническому состоянию - при котором перечень операций, в том числе разборки, определяется по результатам диагностирования изделия в момент начала ремонта, а также по данным о надежности этого изделия и однотипных изделий.

В качестве основного признака, характеризующего стратегии ТОиР объектов, целесообразно принять характер информации о надежности и техническом состоянии агрегатов и изделий, которая используется при назначении периодичности и объема регламентных работ.

Стратегия ТОиР по состоянию существенно отличаются от стратегий ТОиР по ресурсу. Отличия заключаются не только в самом характере технологических процессов ТОиР, но и в распределении материально-технических ресурсов, потребных на развитие производственно-технической базы, соответствующей требованиям той или иной стратегии. Стратегия ТОиР по состоянию включает в себя техническую эксплуатацию ВС по состоянию (ТЭС) и заключается в комбинации трех существующих систем эксплуатации с преобладанием ТЭО.

Стратегия ТОиР по состоянию предполагает обеспечение высокого уровня эксплуатационно-ремонтной технологичности конструкций, создание в достаточных объемах эффективных средств диагностирования и неразрушающего контроля, развитие производственно-технической и экспериментальной базы эксплу-

атационных и ремонтных предприятий.

Важным принципом ТЭС является своевременное предупреждение об отказах при помощи бортовых систем при условии обеспечения максимально возможной их наработки до замены. Предупредительный характер обеспечивается путем организации постоянного наблюдения при эксплуатации за уровнями надежности, а в ряде случаев, и техническим состоянием функциональных систем и отдельных изделий для своевременного выявления предотказного состояния последних с последующей заменой изделий или регулировкой их параметров.

Следующий, не менее важный принцип - обеспечение экономичности ТЭ, которая достигается за счет наиболее полного использования работоспособности каждого конкретного изделия.

Одним из способов диагностики технического состояния является наличие бортовых систем контроля, работающих в режиме реального времени [7].

1.3.1. Бортовые системы контроля и диагностики вертолётов

Бортовые системы мониторинга (за рубежом они называются Health-monitoring system (HMS) или Health and usage monitoring system (HUMS)), используемые в летательных аппаратах, можно разделить на 2 основных типа:

1. Системы 1-го типа, осуществляющие мониторинг состояния конструкции (state monitoring);
2. Системы 2-го типа, осуществляющие мониторинг её нагруженности (load monitoring).

В системах 1-го типа определение повреждений и/или выхода из строя осуществляется путём сравнения параметров наблюдаемой системы с параметрами «нормально работающей» или исходной системы. За рубежом такие системы вышли на практическое применение для трансмиссий вертолётов, двигателей и авионики [80].

В настоящее время разработке систем 2-го типа уделяется большее внимание, так как они позволяют перейти к ТЭС, что даёт значительный экономический эффект.

Наиболее широко и массово HUMS используется американскими военными. За 20 лет сделан огромный шаг вперед. В армии США системами HUMS оборудованы 2563 вертолёт, в т.ч. 755 вертолётов Apache и 1300 Black Hawk. По данным американских военных, только за один 2008 г. система принесла 112 млн. долларов экономии, в том числе:

- \$24 млн - за "спасение" от досрочной замены 51 двигателя T700 (устанавливаются на вертолёты UH-60 и AH-64D);
- \$30 млн - повышение уровня исправности и сокращение трудоемкости ТОиР;
- \$49 млн - предотвращение трех авиационных происшествий AH-64D;
- \$6,6 млн - продление досрочной замены агрегатов;
- \$2,8 млн - сокращение объема ТО хвостовых редукторов вертолётов AH-64D.

Кроме того, на 30% сократилось число невыполненных заданий, на 20% уменьшилось количество облетов после выполнения работ, на 5-10% повысилась боевая готовность. Но самое главное, благодаря предотвращению разрушения подшипников рулевого винта, спасены жизни пилотов. Армия заключила с Goodrich очередной контракт общей суммой \$9,9 млн еще на 80 систем (более \$100 тыс. за экземпляр) для установки на вертолёты UH-60. По итогам 2008 г., окупаемость систем может быть достигнута за 2,5-3 года.

Система HUMS пользуется популярностью не только среди военных эксплуатантов. За последние пять лет спрос на HUMS среди гражданских операторов резко вырос. Еще до конца этого десятилетия система может войти в состав стандартного комплекта бортового оборудования. Благодаря возможности управления процессом изменения технического состояния агрегатов парка система позволяет не только повысить безопасность полётов и эффективность использования, но и сократить эксплуатационные расходы [101].

На вертолётах марки «МИ» бортовые системы контроля наиболее полно реализованы в комплексах КБО-17 и ИБКО-38. В упрощенном виде подобные системы реализованы на вертолётах типа Ми-17 системой БСК-17. А на вертолётах

типа Ми-28 - комплексом БАГЕТ-53-15 (система СПАДИ-28Н).

На вертолёте Ми-171А2 в комплекс бортового оборудования КБО-17 входят системы СУОВО-В1-1 и СОКД-171М [12]. Система СУОВО обеспечивает расширенный контроль состояния всех систем комплекса КБО-17 при наземном обслуживании и подготовке к вылету, а также непрерывный контроль состояния систем в полёте.

Расширенный контроль обеспечивает углубленный контроль систем вертолёта (пилотажно-навигационного оборудования, пилотажного комплекса (автопилот), средств связи, устройств регистрации данных, средств контроля параметров общевертолётного оборудования) с выдачей информации об исправности или о месте отказа в системе.

Система объективного контроля и диагностики СОКД-171М предназначена для сбора, регистрации, накопления и обработки параметрической информации в реальном масштабе времени. В нее заложены функции, обеспечивающие в реальном масштабе времени решение следующих задач:

- прием и регистрация параметрической информации с датчиков бортовых систем вертолёта;
- определение этапа полёта вертолёта и режимов работы двигателей;
- выявление и фиксация превышений эксплуатационных ограничений;
- контроль технического состояния систем и выдача информации о предотказном состоянии.

Система автоматического управления двигателем БАРК-6В-7С помимо функций по управлению режимами работы двигателей, осуществляет непрерывный контроль параметров и режимов работы двигателя, производит учет наработки и передает эту информацию в СУОВО-В1-1.

Вертолёт Ми-38 оборудован интегрированным бортовым комплексом оборудования ИБКО-38 [13]. В режиме «контроль» комплекс проводит расширенный контроль исправности всех систем (бортового радиоэлектронного оборудования, пилотажного комплекса (автопилот), средств связи и регистрации). Контроль состояния систем общевертолётного оборудования осуществляет бортовая система

контроля БСК-38. Контроль параметров и режимов работы двигателей осуществляет система БАРК-6В.

Обе системы позволяют за 60-70 сек провести расширенный контроль состояния систем вертолѐта при предполѐтной подготовке. Каждая система способна выдавать интегральные сообщения о результатах контроля. Выдаются сообщения об исправности или, при наличии отказов, выдается сообщение с информацией об отказавшем блоке.

Система HUMS-IMD - это комплекс бортовых систем контроля и диагностики зарубежных вертолѐтов. В ее состав входит система HUMS, обеспечивающая контроль бортовых датчиков, система ROTABS, выполняющая функции по контролю и балансировки винтов и система управления двигателями FADEC. Представляет из себя аналог отечественных систем БАРК и осуществляет контроль параметров силовых установок. Для диагностики полученной информации от системы HUMS используется наземный комплекс T-HUMS с программным обеспечением IFLS.

Отечественные системы СУОВО-В1-1 и ИБКО-38 ничем не уступают зарубежным аналогам. Это видно при сравнительном анализе, выполненным в таблицах 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2 – Сравнение отечественных и зарубежных систем диагностики

Контролируемые параметры	Обозначение систем контроля		
	КБО-17	ИБКО-38	HUMS-IMD
Состояние общевертолѐтных систем	СУОВО-В1	БСК-38	HUMS
Параметры силовой установки	БАРК-6В-7С	БАРК-6В	FADEC
Вибросостояние винтов	СОКД-171М	-	ROTABS
Измерение массы и центровки вертолѐта	ИМЦ-171	СИБ-38	-
Состояние БРЭО	СУОВО-В1	МФПУ-1	-

Таблица 1.3 - Сравнение возможностей отечественных и зарубежных систем контроля

Контролируемые параметры систем:	КБО-17		ИБКО-38	HUMS-IMD	
	с СОКД	без СОКД		с ROTABS	без ROTABS
Частота вращения, крутящий момент и мощность на валу свободной турбины каждого из двигателей	+	+	+	+	+
Температуры газов за турбиной компрессоров и регулятора-ограничителя температуры двигателей	+	+	+	+	+
Маслосистема двигателей	+	+	+	+	+
Вибросостояние двигателей	+	+	+	+	+
Вибросостояние главного, промежуточного и хвостового редукторов, вала трансмиссии	+	-	-	+	-
Вибросостояние несущего и рулевого винтов	+	-	-	+	-
Крутящий момент в хвостовом вале трансмиссии;	+	-	-	+	+
Частота вращения несущего винта;	+	+	+	+	+
Фазы скоса несущего и рулевого винтов (соконусность);	+	-	-	+	-
Гидросистема вертолѐта	+	+	+	+	+
Система электроснабжения	+	+	+	-	-
Противопожарная система	+	+	+	-	-
Топливная система	+	+	+	-	-
Система кондиционирования	+	+	+	-	-
Параметры ВСУ	+	+	+	-	-
Тормоз несущего винта – задействован/ не задействован	+	+	+	+	+
Выявление грубой посадки	-	-	-	+	+
Истинная и измеренная воздушная скорость	+	+	+	+	+
Барометрическая высота	+	+	+	+	+
Радарная высота	+	+	+	+	+
Температура наружного воздуха	+	+	+	+	+
Количество посадок	+	+	+	+	+
Местоположение по GPS				+	+
Пилотажный комплекс вертолѐта (автопилот)	+	+	+	-	-
Системы БРЭО	+	+	+	-	-

Однако, без правильной организации системы послепродажного обслуживания данные системы будут не эффективны. Для получение максимальной отдачи от применения бортовых систем диагностики, должен быть организован комплексный подход включающий в себя:

1. Разработку требований к надёжности (безотказности, контролепригодности и технологичности) конструкции вертолётa и его систем на ранних этапах его проектирования;
2. Проектирование ВС с учетом установки бортовых систем диагностики;
3. Анализ отказобезопасности на каждом этапе проектирования для проверки соответствия вертолётa, его систем и изделий требованиям по безопасности полётov;
4. Применение стратегии эксплуатации «по состоянию»;
5. Организацию системы сбора и обработки информации по результатам эксплуатации;
6. Своевременную поставку ЗИП и МТО;
7. Наличие соответствующих СНО и КПА.

1.3.2. Система технической эксплуатации воздушных судов «по состоянию» с использованием бортовых систем контроля

Системы мониторинга технического состояния вертолётa в режиме реального времени через набор датчиков, а также принимая сигналы от бортовых систем, позволяют выявлять и диагностировать предотказные ситуации в узлах и агрегатах, определять балансировку винтов и проводить постоянную проверку соконусности лопастей несущего винта.

Через бортовые системы диагностики и их наземную часть с общими базами данных инженерно-технический состав сможет получать необходимые ему сведения о состоянии отдельных компонентов, например, двигателей, несущей системы, трансмиссии и пр. Мониторинг технического состояния и отслеживание расходования ресурсов вертолётa и его КИ поможет точно спланировать очередное техническое обслуживание.

Но только лишь установка бортовых систем не даст положительного результата и качественного улучшения системы ТЭ. Это возможно при комплексном подходе к поставленной проблеме. Необходимо определить перечень контролируемых параметров, вычислить возможные скрытые и неконтролируемые узлы

и агрегаты и с учетом этой информации составлять план ТОиР. Необходимо также определять экономическую целесообразность установки таких систем на конкретный тип ВС при помощи расчета СЖЦ.

1.4. Анализ структуры стоимости жизненного цикла вертолёта

Для того, чтобы проектируемое ВС было рентабельно в производстве, необходимо на этапе разработки производить расчет СЖЦ. Это позволит вовремя вырабатывать проектно-конструкторские решения для создания оптимальной конструкции ВС.

Стоимость ЖЦ изделия складывается из затрат на разработку, производство, эксплуатацию и поддержание изделия в работоспособном состоянии, а также на утилизацию по истечении срока службы. Для изделия АТ, имеющего длительный срок использования (15-30 лет), затраты, связанные с поддержанием его в работоспособном состоянии, могут быть равны или даже превышать затраты на приобретение. Упрощенная структура стоимости ЖЦ представлена на рис. 1.5.

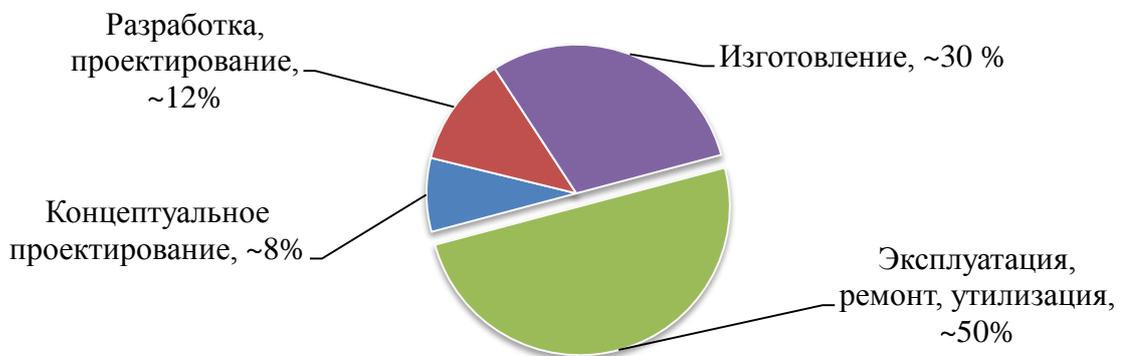


Рис. 1.5 - Структура стоимости жизненного цикла ВС

Анализируя рис. 1.5, видно, что половина стоимости ЖЦ ВС приходится на этап его эксплуатации, иными словами, это затраты на владение ВС.

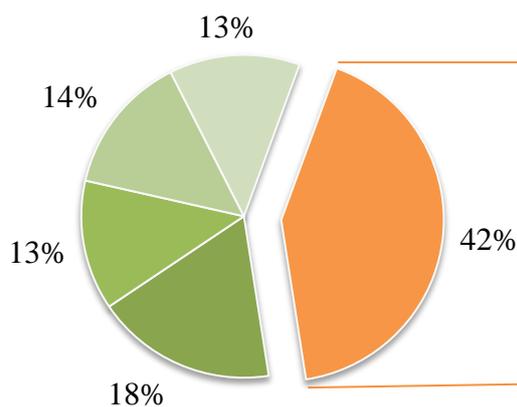
Структура и взаимосвязь затрат на владение ВС представлена на рис. 1.6 [62]. Видно, что почти половина от общих затрат на владение ВС приходится на прямые операционные затраты, больше четверти которых - затраты на техниче-

ское обслуживание. Примерно одна шестая часть от стоимости ЖЦ приходится на затраты, связанные с ТОиР.

На этапе эксплуатации определяющую роль в стоимость ЖЦ вносят затраты на ТОиР, которые определяют рентабельность использования ВС. Рациональная организация этих процессов будет способствовать сокращению затрат на эксплуатацию ВС в целом [30].

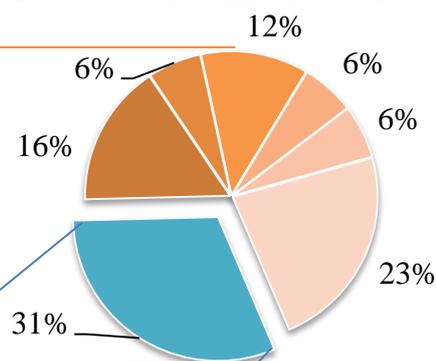
Затраты на владение ВС

- Прямые операционные затраты
- Стоимость ВС
- Амортизация
- Инфраструктура
- Административный персонал



Прямые операционные затраты

- Затраты на техническое обслуживание
- Топливо
- Страхование
- Экипаж
- Аэронавигационное обслуживание
- Аэропортовые сборы
- Метеообеспечение полётов



Прямые затраты на техническое обслуживание

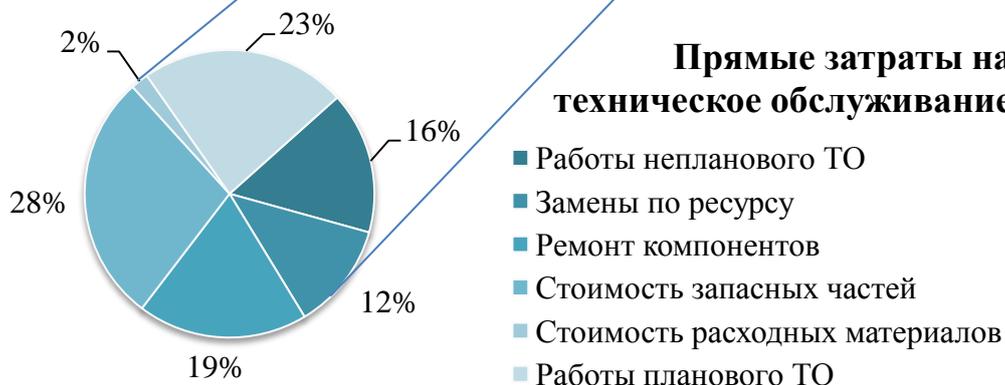


Рис. 1.6 - Структура и взаимосвязь затрат на владение ВС

Любое изменение (усовершенствование) изделия, или существующего процесса его ТО также должно быть оценено с точки зрения СЖЦ для определения

экономической целесообразности и обоснования необходимости этого изменения или усовершенствования. Сравнение СЖЦ при существующих и при измененных условиях эксплуатации позволяет оценить срок окупаемости затрат за счет общего снижения стоимости ЖЦ и отклонить те изменения, которые не дают существенных преимуществ.

Результат такого анализа зависит от принятых допущений или используемых критериев оценки СЖЦ. Такими критериями могут быть: норма прибыли, долговечность оборудования, коэффициент инфляции или норма дисконта, эффективность функционирования, стоимость обслуживания и т.д. Использование достоверных исходных данных при расчетах СЖЦ обеспечивает высокий уровень достоверности результатов и успех при принятии управленческих решений.

При прогнозе СЖЦ на несколько лет вперед можно наблюдать за расходом средств и, как следствие, за изменением общих затрат на владение изделием. Этот расчет следует выполнять в сопоставимом денежном выражении, т.е. использовать коэффициент дисконтирования, позволяющий привести будущие затраты к текущему моменту времени. СЖЦ вычисляются для альтернативных стратегий ТО вертолёта, затем сравниваются между собой, после чего выбирается наиболее выгодная стратегия эксплуатации.

В общем случае, анализ СЖЦ является инструментом менеджмента и помогает разработчику (предприятию изготовителю) минимизировать величину затрат, повысить эффективность применения и выявить наиболее приемлемое проектно-конструкторское или организационное решение. При внесении изменений в конструкцию, необходимо понимать, что основным критерием был и остается уровень безопасности полётов.

1.5. Обзор отечественных и зарубежных научных работ в области создания и оптимизации моделей жизненного цикла авиационной техники

В открытом доступе имеется ряд отечественных и зарубежных научных работ в области оптимизации систем технической эксплуатации, внедрения различного программного обеспечения, разработки новых методов диагностики и кон-

троля, новых подходов к проектированию и исследованию процессов эксплуатации. Большинство из них направлено на снижение себестоимости и повышение качества, надёжности или безопасности полётов ВС.

Одной из наиболее близких к рассматриваемой постановке задачи является работа [103], в которой представлен подход к проектированию вертолётной техники, основанный на разработке конструкции, имеющих оптимальный баланс по критерию надёжность/стоимость. Он заключается в том, что еще на стадии проектирования учитывается конечная стоимость изделия, которая должна отвечать заданным требованиям по надёжности.

Важные принципы подхода к вопросам диагностики и продлении ресурсов агрегатов изложены в работе [82]. На примере вертолёта Ми-2 предложен порядок поэтапного продления назначенного ресурса элементов хвостовой трансмиссии. С использованием анализа MSG-3 определены работы, которые необходимо внести в Регламент технического обслуживания, выбран метод неразрушающего контроля элементов хвостовой трансмиссии.

В методологическом плане в вертолётостроении на стадии проектирования можно применять подходы, используемые и в других областях машиностроения. Так, например, в работе [9] применяются принципы системного проектирования и установлены закономерности субъектно-объектных отношений создания моделей технического обслуживания.

В диссертации [16] изложен комплекс новых задач инженерно-авиационного и научно-методического сопровождения процессов поддержания лётной годности и обеспечения безопасности полётов воздушных судов.

Ряд исследований, направлен на совершенствование методов расчета надёжности сложных функциональных систем ВС гражданской авиации. Так, например, в работе [48] проводится исследование существующей методологии оценки надёжности АТ по данным о ее эксплуатации с целью разработки новых инженерных методик анализа надёжности. В близкой по проблематике работе [10] предложен путь разработки альтернативного методологического подхода к исследованию влияния длительности эксплуатации самолетов на надёжность функцио-

нальных систем. В выводах этой работы отмечена необходимость развития риск-анализа технических систем, учитывающего не только вероятности и потери от катастроф, но и затраты на обеспечение безопасности полёта, что может быть использовано для анализа перспективности стратегических направлений развития техники.

Говоря о надёжности и её влиянии на безопасность полётов, можно отметить труды [40], направленные на исследование влияния временной и циклической нагруженности на безотказность (надёжность) агрегатов и систем ВС. В работе описаны методы оценки надёжности при обосновании стратегии технического обслуживания АТ.

Обобщая накопленный в работах [9-10, 16, 40, 42, 48, 82, 103] опыт научно-исследовательских работ, можно оценить степень проработанности тех или иных организационных элементов, встречающихся в процессе жизненного цикла АТ. Несмотря на близкую область исследования, ни одна из вышеуказанных работ не описывает и не решает проблематику проектирования ВС направленную на снижение стоимости ЖЦ АТ при наличии ограничений по безопасности полётов.

1.6. Постановка задачи исследования

Основной задачей исследования является разработка методик проектирования транспортных вертолётов с учетом стоимости ЖЦ и обеспечения безопасности полёта. Предлагаемый переход к концепции ТОиР «по состоянию» возможен только при решении комплекса задач.

Для определения возможности и целесообразности применения новой концепции ТОиР к вертолётам, уже находящимся в эксплуатации, необходимо провести анализ технического состояния парка вертолётов, а также проанализировать существующую модель их ТОиР. Для вертолётов нового поколения необходимо решать задачи по созданию и использованию бортовой системы оперативного контроля их технического состояния. Предполагается, что такая система в режиме реального времени будет отслеживать состояние всех бортовых систем ВС. В режиме расширенного контроля она будет проводить диагностику параметров и

контроль систем при подготовке ВС к вылету, а также при проведении периодического ТО.

Внедрение такой бортовой системы контроля затронет конструкцию вертолётá, а так же изменит состав бортового оборудования. Для сохранения требуемого уровня безопасности полётов должна быть проведена оценка отказобезопасности вертолётá, его систем и агрегатов. Это позволит на стадии разработки определить оптимальный состав и степень резервирования оборудования, определить его функции и примерную стоимость его разработки.

Внедрение бортовой системы контроля и анализ отказобезопасности станут основой при разработке регламента ТОиР для концепции стратегии технической эксплуатации «по состоянию». Для существующего парка вертолётóв не оснащенных бортовыми системами контроля анализ отказобезопасности покажет степень безопасности конструкции, по результатам которого будет формироваться новый регламент ТОиР для стратегии технической эксплуатации по состоянию. Это новый подход к формированию плана ТОиР относительно ныне существующего.

Контроль уровня безопасности полётов, а также его повышения, реализуется с помощью снижения уровня технических рисков. Это достигается за счет применения концепции приемлемого риска.

Внедрение элементов системы ИЛП в практику эксплуатации отечественных вертолётóв позволит объединить процесс проектирования (разработки), производства и эксплуатации в единое информационное пространство, повысить эффективность работы всех участников процесса за счет сокращения времени от разработки продукции до эксплуатации, снизит издержки и положительно повлияет на решение поставленных целей.

Эта задача в настоящее время решается путём внедрения программного обеспечения ILS Suite в организациях разработчика, производителя и эксплуатанта. Создания базы данных вертолётá, установки ПО на единый сервер, подключение участников программы к серверу, обучение персонала.

Подтверждением правильности выбора новой модели ТОиР будет служить

оценка её экономической эффективности по сравнению с существующей.

Выводы по главе 1

1. Показатели надёжности и безопасности полётов отечественных транспортных вертолётов в последние годы растёт, что позволяет рассмотреть вопрос о внедрении более экономичной системы их технического обслуживания.

2. Существующая модель эксплуатации гражданских вертолётов отечественного производства «по ресурсу» морально устарела, что ведет к бóльшим затратам на этапе эксплуатации.

3. Разработка и внедрение новых методик технической эксплуатации и проектирования должны происходить при сохранении существующего в настоящее время уровня безопасности полётов

ГЛАВА 2. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЁЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНА ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

2.1. Применение концепции приемлемого риска возникновения особых ситуаций при эксплуатации воздушных судов

Обеспечение безопасности полётов является одной из важнейших проблем современной авиации. Эта задача решается на всех этапах ЖЦ ЛА – от этапа разработки до эксплуатации серийных машин.

Безопасность полётов в значительной степени зависит от уровня надёжности ЛА и сохраняет актуальность и важность на всех этапах его ЖЦ. В свою очередь, надёжность конструкции ЛА обеспечивается на этапах его проектирования. В сложной технической системе, к которой относится вертолёт, изначально (по различным причинам) заложена возможность системной ошибки, которая может привести к катастрофе ВС. Эта ошибка, которая в современном авиационном сообществе оценивается через понятие «риск», может быть найдена и спрогнозирована [6, 14, 18, 35, 39, 41, 51, 92, 96].

В настоящей работе в качестве критерия оценки степени безопасности эксплуатации используется понятие «риск», распространяемое на функционирование сложного технического объекта.

В настоящее время подход к понятию «риск» происходит, как к неизменному, статистическому параметру. Предлагается отойти от принципа «абсолютной безопасности» («нулевого» риска) и постепенно перейти к принципам «приемлемой безопасности». Концепция «приемлемого риска», позволит минимизировать технические риски на всех этапах жизненного цикла вертолёта – от этапа разработки до этапа эксплуатации серийных машин.

Без реализации концепции «приемлемого риска» дальнейшее существова-

ние современной авиации неприемлемо. Поэтому анализ риска, умение предвидеть его последствия и принимать своевременные и обоснованные решения - залог обеспечения безопасности эксплуатации ВС.

Под «принятием решения» будем понимать действия по модернизации конструкции, состава или архитектуры систем вертолёта или модели его технической эксплуатации, которые основаны на анализе причин возникновения неблагоприятных событий и направлены на снижение СЖЦ при сохранении уровня безопасности полётов. Учитывая требования ИКАО в части управления безопасностью полётов, перед разработчиками воздушного судна стоит задача создания информационных систем управления безопасностью полётов. Интеграция этих систем с бортовым оборудованием и высокие требования к их надежности требуют комплексного подхода к разработке таких систем и внедрению их в конструкцию вертолётов [25, 44, 57].

2.1.1. Основные положения теории рисков

Под «безопасностью» будем понимать состояние системы, при котором риск отказа снижен до приемлемого уровня и поддерживается на этом, либо более низком уровне посредством непрерывного процесса выявления угроз, контроля факторов риска и управления состоянием системы [29].

При анализе безопасности полётов ВС понятие «риск» определяется как оценка последствий опасности, выраженная в виде прогнозируемой вероятности или серьезности отказа. При этом за контрольный ориентир принимается наихудшая предвидимая ситуация [100].

Применительно к технической системе, понятие "риск" - это мера прогнозируемого «количества опасности» в анализируемом опасном состоянии (особой ситуации), представляемая в виде экспертной оценки сочетания двух величин:

- 1) вероятности возникновения особой ситуации;
- 2) последствий установленного опасного события.

Под "особой" понимается ситуация, возникающая в результате воздействия неблагоприятных факторов или их сочетаний и приводящая к снижению безопас-

ности полёта.

На этапе эксплуатации ВС к критериям безопасности полётов относят: риск смертельного ранения, технический риск и коэффициент катастроф. Такие показатели носят статистический характер [39].

Критерием оценки надёжности конструкции системы или ВС в целом служит показатель технического риска. Он характеризует вероятность аварии или катастрофы, произошедшей по техническим причинам, и вычисляется по формуле:

$$TP = \frac{K + A}{B}, \quad (2.1)$$

где B – количество ВС (систем), находившихся в эксплуатации за рассматриваемый период.

По статистике ежегодно до 80% авиационных инцидентов и от 12% до 25% авиакатастроф происходят из-за отказов техники [58, 104]. Этот показатель отражает технические риски.

В настоящей работе анализ рисков предполагает подход к нему не как к статистическому, неизменному параметру, а как к управляемому, на уровень которого возможно и необходимо оказывать воздействие. Отсюда следует вывод о необходимости влияния на выявленные риски с целью их минимизации или компенсации.

На изучение таких возможностей направлена специальная методология, называемая концепцией «приемлемого риска». В её основе лежит утверждение о невозможности абсолютной безопасности - полного устранения потенциальных причин, которые могут привести к нежелательному развитию событий, и в результате - к отклонению от заданной цели.

Концепция «приемлемого риска» предполагает, что процесс достижения цели может происходить на базе принятия таких решений, которые обеспечивают некоторый компромиссный уровень риска, называемым «приемлемым». Этот уровень соответствует определенному балансу между ожидаемой выгодой и угрозой потерь. Основан на аналитической работе, включающей в себя проведение анализа отказобезопасности [4, 63].

В настоящее время используются различные способы снижения финального уровня рисков, многообразие которых можно классифицировать следующим образом: методы уклонения от риска; методы локализации риска; методы компенсации риска. Важно отметить, что недостаточная эффективность существующих методов заключается в том, что все они носят профилактический характер [39, 70].

2.1.2. Управление рисками

Управление рисками - это процессы, связанные с идентификацией, анализом рисков и принятием решений, которые включают максимизацию положительных и минимизацию отрицательных последствий наступления рисков событий. Управление рисками включает в себя разработку обоснованных рекомендаций и реализацию мероприятий, направленных на уменьшение исходного уровня риска до приемлемого финального уровня. Приемлемый уровень риска достигается путём выработки мероприятий, нейтрализующих последствия отказов которые были выявлены по результатам исследований последствий неисправности ВС или систем, выявлении скрытых отказов при эксплуатации ВС.

Предлагаемый метод снижения уровня риска при эксплуатации ВС основан на анализе отказов систем ВС и степени их влияния на безопасность полёта. Это позволяет выработать обоснованные решения по безопасной эксплуатации ВС в полёте и на земле и дает возможность эксплуатантам ВС обеспечить управление приемлемым уровнем безопасности полётов.

Алгоритм оценки и управления рисками представлен в виде блок-схемы на рис. 2.1.

Целью анализа отказов является количественная оценка рисков применительно к рассматриваемой системе. Это достигается тем, что на основе некоторой комбинации качественных признаков состояния функциональной системы задается количественный эквивалент, определяющий уровень риска для безопасной эксплуатации ВС в целом.

На этапе разработки ВС технические риски, которые могут возникнуть на этапе эксплуатации, рассматриваются при проведении анализа отказобезопасно-

сти. Под отказобезопасностью понимается свойство ВС, характеризующее его способность обеспечить безопасное завершение полёта в ожидаемых условиях эксплуатации при возможных отказах на борту или при возникновении особой ситуации.

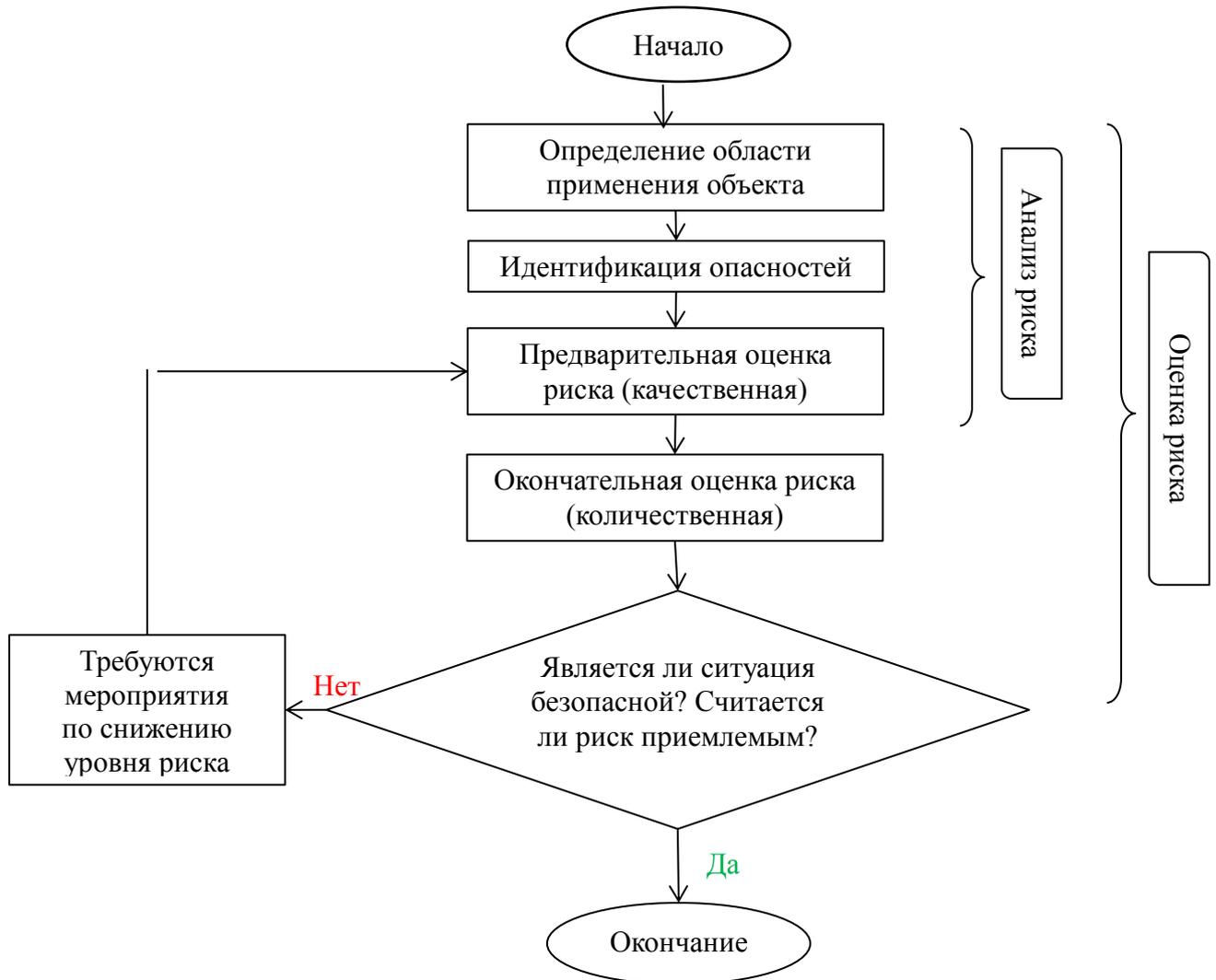


Рис. 2.1. – Блок-схема оценки и управления рисками

Следует отметить, что помимо разработки конструкции и архитектуры бортовых систем ВС не последнюю роль в обеспечении безопасности полётов играет качество эксплуатационной документации. Выявленные в процессе анализа отказобезопасности рекомендации по действиям экипажа могут служить основанием для доработки руководства по лётной эксплуатации. На основе результатов расчетов также может формироваться регламент по техническому обслуживанию ВС.

Процесс управления рисками начинается с ранних этапов разработки ВС и

продолжается на всех этапах его жизненного цикла.

На этапе разработки ВС для оценки уровня риска используется интенсивность возникновения особой ситуации. Это численный показатель степени опасности последствий проявления отказа, определяемый тяжестью последствий проявлений отказа. По степени опасности выделяют 5 особых ситуаций (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Классификация особых ситуаций

Особая ситуация		Допустимая оценка возникновения ОС	
Наименование	Обозначение	Качественная	Количественная
Катастрофическая ситуация	КС	Практически невероятное	$\lambda \leq 10^{-9}$
Аварийная ситуация	АС	Крайне маловероятные	$\lambda \leq 10^{-7}$
Сложная ситуация	СС	Маловероятные	$\lambda \leq 10^{-5}$
Усложнение условий полёта	УУП	Вероятные	$\lambda \leq 10^{-3}$
Ситуация без последствий	БП	Требования не предъявляются	

Критерием экспертной оценки при назначении степени опасности того или иного отказа является анализ последствий его проявления по следующим признакам представленным в таблице 2.2 [71, 76, 78].

Таблица 2.2 - Классификация последствий отказных состояний

Классификация ОС	Последствия отказа		
	для ВС	для экипажа	для пассажиров
КС	Потеря управляемости или разрушение элементов конструкции	Смертельная травма, жертвы	Смертельная травма, жертвы
АС	Опасное уменьшение функциональных возможностей или запасов безопасности	Чрезмерное увеличение нагрузки, снижающее способность выполнения задач	Серьезные травмы
СС	Значительное уменьшение функциональных возможностей или запасов безопасности	Заметное увеличение нагрузки или физический дискомфорт	Физическое недомогание, возможные травмы
УУП	Незначительное уменьшение функциональных возможностей или запасов безопасности	Незначительное увеличение нагрузки	Физический дискомфорт
БП	Отсутствие влияния на эксплуатационные характеристики	Отсутствие последствий	Неудобство

2.1.3. Матрица рисков

Для идентификации рисков используется анализ отказобезопасности (описан в разделе 2.2), а степень их влияния проецируется на матрицу рисков, после чего оценивается рискоустойчивость и определяется приемлемость риска.

По результатам инженерного анализа интенсивности отказов и неисправностей функциональных систем ВС с учетом вероятности возникновения особой ситуации составляется матрица рисков (таблица 2.3). На её основе производится дифференциация наиболее серьёзных и часто повторяющихся отказов (происшествий) - от чрезвычайно редких с максимальной тяжестью до частых событий с минимальной тяжестью последствий.

При помощи матрицы рисков можно определить индекс риска на основе известных частоты возникновения ОС и серьезности её последствий. Величина индекса риска определяется как произведение индекса частоты проявления ОС на индекс серьезности её последствий.

Для прогнозирования риска применяется формула 2.2:

$$R = P \times S, \quad (2.2)$$

где R – численный показатель уровня риска,

P – индекс частоты (вероятности) проявления ОС,

S – индекс степени опасности ОС.

По результатам расчетов по формуле 2.2 получается некоторый числовой показатель, называемый индексом риска, который сопоставляется с таблицей 2.3 и 2.4, где видна зона уровня риска.

Такой подход обеспечивает на практике простой и наглядный способ оценки степени опасности возникающих ОС. Данный метод позволяет на этапе проектирования определить «слабые зоны» конструкции и произвести их доработку [5].

Таблица 2.3 – Матрица индексов риска

Степень опасности ОС		БП	УУП	СС	АС	КС
Частота проявления ОС	Индексы риска Pi / Sj	Серьезность риска				
		1	2	3	4	5
Практически невероятная	1	1	2	3	4	5
Крайне маловероятная	2	2	4	6	8	10
Малая вероятность	3	3	6	9	12	15
Редкая (вероятная)	4	4	8	12	16	20
Частая	5	5	10	15	20	25

Таблица 2.4 – Индексы риска

Зона риска	Индексы риска	Приемлемость уровня риска
Недопустимая зона	10-25 (баллов)	Недопустимо при существующих обстоятельствах
Допустимая зона	5-9 (баллов)	Допустимо на основании снижения рисков
Приемлемая зона	0-4 (баллов)	Приемлемо

2.2. Анализ отказобезопасности систем и агрегатов воздушных судов

Модель ТЭС подразумевает переход на контроль технического состояния ВС встроенными средствами контроля. При этом возникают, как минимум, три проблемы:

1. Выявление перечня контролируемых систем и агрегатов, а также определение перечня контролируемых в них параметров;
2. Необходимость создания встроенных и бортовых систем контроля;
3. Высокая степень ответственности за получаемые данные от систем контроля, т.к. от полноты контроля и достоверности информации о состоянии систем ВС зависит безопасность полётов.

Анализ отказобезопасности позволяет решить первые две проблемы. Результаты решения по первой проблеме дают исходные данные для разработки систем контроля, а также позволяют верифицировать разработанную систему контроля.

2.2.1. Методика анализа отказобезопасности

Процесс анализа отказобезопасности начинается с этапа оценки функциональной опасности (Function Hazard Assessment - ФНА). На этом этапе оцениваются функции уровня ВС и функции уровня систем с целью выявления потенциальных отказов. Здесь же проводится классификация опасностей, связанных с последствиями проявления отказного состояния. В течение всего цикла разработки ВС при выявлении новых функций или отказных состояний информация актуализируется. Такая оценка устанавливает цели по безопасности эксплуатации ВС.

Далее, путем распределения функций между системами, определяется предварительная архитектура функциональных систем ВС. Затем определяются функции на уровне системы и, в процессе формирования архитектуры системы, функции распределяются между её элементами.

Следующим этапом при проектировании системы или ВС является этап «бюджетирования». Этот процесс заключается в распределении «бюджета» надежности по функциям, выполняемым системами, на основании последствий отказов, определённых в оценке безопасности и соответствующих им уровней риска. Для события верхнего уровня вероятность наступления события определяется как максимальная допустимая вероятность отказа на час полёта, соответствующая классификации особой ситуации.

Для оценки правильности выбранной архитектуры и состава проектируемой системы проводится предварительная оценка безопасности системы (PSSA - Preliminary System Safety Assessment). Целью проверки является ответ на вопрос, будут ли при реализации предполагаемой архитектуры соблюдены цели по безопасности, установленные на этапе оценки функциональной опасности (ФНА).

Для численных расчетов при проведении PSSA используют методы анализа логической схемы, анализа дерева неисправности (FTA - Fault Tree Analysis), анализа цепей Маркова, анализа видов и последствий отказов (АВПО). Если конечный результат покажет, что система не соответствует заданным требованиям, необходимо внести изменения в архитектуру системы и/или выбрать другой состав изделий, после чего повторить процесс PSSA. При любых изменениях необ-

ходимо актуализировать оценку функциональной опасности. Таким образом, PSSA является итерационным процессом, связанным с развитием проекта, и проводится на многих этапах разработки системы, включая этап определения её характеристик. Заключительным этапом проверки конечной конструкции проектируемой системы служит оценка безопасности системы (SSA - System Safety Assessment).

Проводимый анализ по отказобезопасности и включенный в него процесс управления рисками позволяет уже на ранних этапах создания архитектуры системы предвидеть влияние возможных отказов систем и изделий на ЛА, оценить последствия отказов и внести корректирующие действия по пересмотру разрабатываемой конструкции.

Для обеспечения соответствия требованиям безопасности [2, 3] нормативные документы [71, 76-78] требуют доказательств независимости функций систем или элементов. Выявлению наличия такой независимости служит процесс анализа общих причин отказов (ССА - Common Casual Analysis). Этот анализ должен показать отсутствие в спроектированных системах общих причин отказа (общих точек), которые приводят к катастрофическим и аварийным последствиям, а также обосновать приемлемость такого события для остальных ситуаций.

После того, как будут спроектированы все системы вертолѐта и проведена оценка их безопасности и анализ общих причин уровня системы приступают к оценке безопасности вертолѐта (ASA – Aircraft Safety Assessment) и процесс анализу общих причин отказов уровня вертолѐта.

Расчеты могут проводиться как ручным способом с применением стандартных наборов программного обеспечения персонального компьютера, так и в специализированном ПО. Специализированное ПО имеет ряд преимуществ, одним из наиболее важных является наличие справочников по надёжности изделий и агрегатов. Оно также позволяет производить взаимоувязку полученных результатов.

На АО «МВЗ им. М.Л.Миля» проводилось тестирование и сравнение различного ПО для расчета надёжности и анализа отказобезопасности. Сравнение и выбор оптимального ПО из нескольких продуктов, представленных на рынке,

приведено в Приложении А.

Для систем контроля вертолётов Ми-38 и Ми-171А2 проводился анализ отказобезопасности [32, 81]. Соответствие систем контроля и ВС предъявляемым требованиям подтверждается наличием сертификата типа [83-84].

Ввиду высокой сложности этих систем, в качестве простого примера порядка выполнения анализа отказобезопасности на этапе проектирования по предлагаемой методике с использованием концепции приемлемого риска рассмотрена абстрактная система индикации оборотов несущего винта.

2.2.2. Пример анализа отказобезопасности на этапе проектировании

Предположим, что необходимо разработать систему индикации оборотов несущего винта для вертолёта с экипажем из двух пилотов. На проектируемую систему возлагается одна функция – показывать текущие обороты НВ на всех этапах полёта двум летчикам. Зная предназначение системы конструкторские подразделения начинают прорабатывать архитектуру системы, а подразделение надёжности проводит анализ этой системы для назначения уровня надёжности, под который необходимо спроектировать систему.

Первым шагом выполняется оценка функциональной опасности (ФНА) системы. Используя таблицы 2.1, 2.2 проанализируем возможные последствия отказа, сведём результаты в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 - Оценка функциональной опасности системы

Функция системы	Функциональный отказ	Последствия отказа		Классификация последствий отказа	Характеристики рисков
		для экипажа	для вертолёта		
Отображение экипажу информации об оборотах НВ	Потеря отображения информации об оборотах НВ	Потеря информации для корректировки общего шага лопастей НВ при изменении мощности двигателя в полёте	Невозможность поддержания постоянной частоты вращения НВ. Снижение оборотов приведет к потере силы тяги НВ, уменьшению высоты полёта и столкновению с землей. Превышение оборотов вызовет чрезмерные нагрузки на несущую систему, что приведет к разрушению конструкции.	КС	$S_j = 5$ $R \leq 12$ $\lambda \leq 10$

Результаты ФНА передаются в конструкторские подразделения для проработки облика системы. По окончании проектирования получается предварительный облик системы, который передается в подразделение надёжности в виде рабоче-конструкторской документация для более детального анализа.

На основании РКД формируется логическая блок-схема архитектуры системы для анализа надёжности. Предположим, что в состав системы вошли:

- датчик оборотов 1 шт. (Д1);
- указатель оборотов 2 шт. (У1 и У2);
- электропроводка (Э).

Построим блок-схему 1 для начального варианта системы (рис. 2.2).

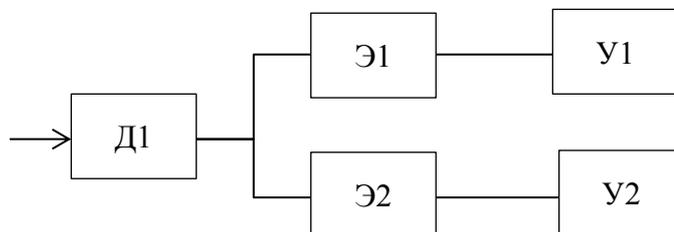


Рис. 2.2 – Блок-схема 1

Проведем предварительную оценку безопасности системы (PSSA), построим дерево неисправности (FTA). PSSA начинается с анализа видов и последствий отказов (АВПО). Зная элементы системы и выполняемые функции в составе системы проведем качественный анализ последствий видов отказов (таблица 2.6). АВПО является анализом «снизу-вверх», т.к. рассматриваются последствия отказов элементов на вертолёт.

Таблица 2.6 – Анализ видов и последствий отказов

Функциональная единица	Вид отказа	Последствие отказа на систему	Последствие отказа на вертолет
Д1	Отказ датчика	Отсутствует прием информации о текущих оборотах НВ на указатели	Потеря отображения информации об оборотах НВ
Э1 (Э2)	Обрыв электропровода	Отсутствует передача информации по одному каналу	Частичная потеря информации. Отсутствует отображение информации об оборотах НВ у одного пилота
У1 (У2)	Отказ указателя	Отсутствует отображение информации по одному каналу	Частичная потеря информации. Отсутствует отображение информации об оборотах НВ у одного пилота

Построим дерево неисправности (ФТА) (рис. 2.3). Анализ дерева неисправности является анализом «сверху-вниз» и заключается в рассмотрении причин функциональных отказов. Последствия отказа берутся из ФНА, а при анализе используется алгебра-логики. Обозначения элементов дерева неисправности приведены в таблице 2.7.

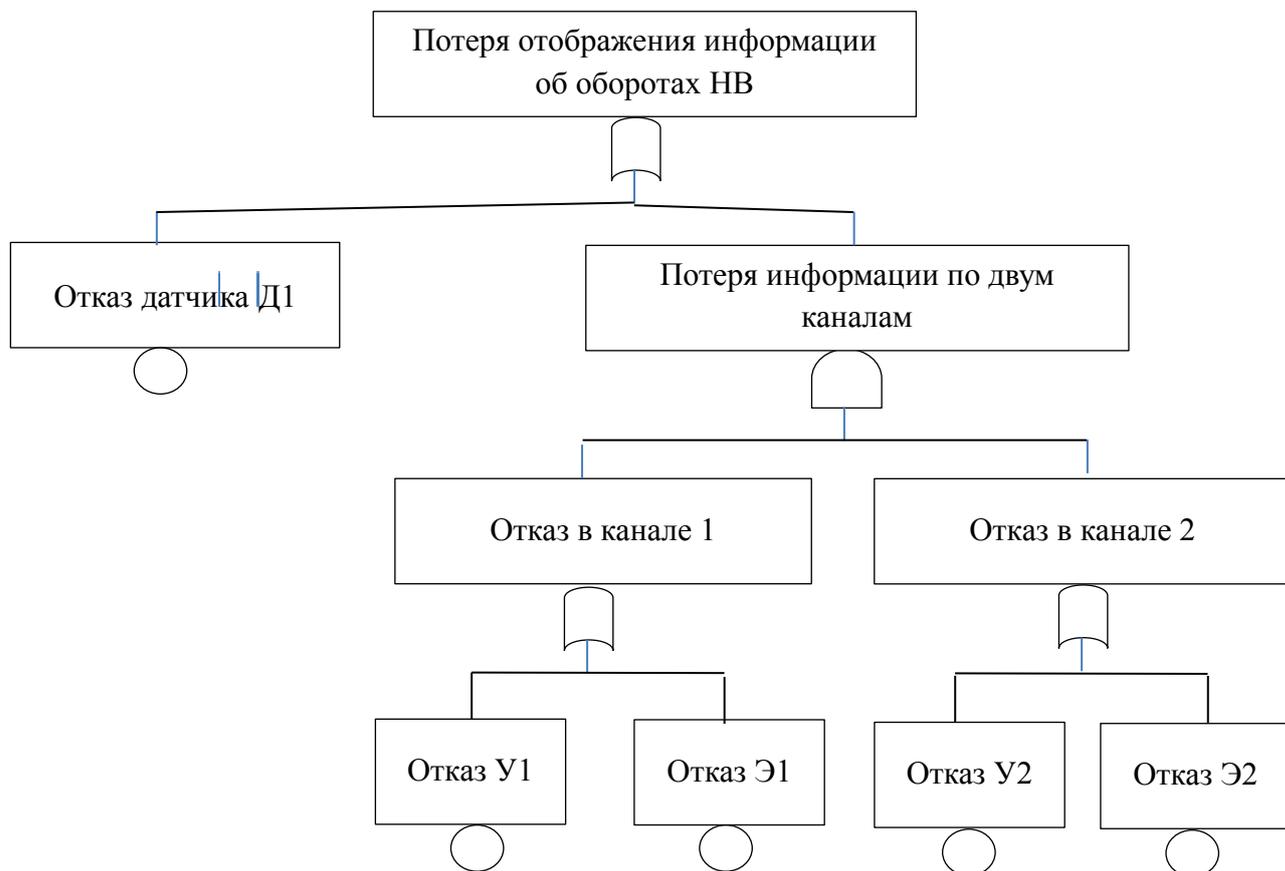
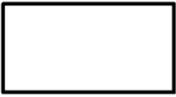


Рис. 2.3 – Дерево неисправности для блок-схемы 1

Таблица 2.7 - Значение логических символов дерева неисправности

№	Символ логического знака	Название логического знака	Причинная взаимосвязь
1		Блок описания события	Название или описание события, код события и вероятности появления (при необходимости) должны быть указаны внутри символа
2		Основное событие	Событие, которое не может быть подразделено на составляющие события
3		И	Событие может произойти, когда все условия нижнего уровня истинны
4		ИЛИ	Выходное событие происходит, если случается любое из входных событий

Сходимость результата анализ дерева неисправности и АВПО есть, значит анализ выполнен верно.

Следующим шагом необходимо выполнить бюджетирование безопасности по элементам системы. Из исходных данных для этого процесса есть дерево неисправности (рис. 2.3) и ФНА (таблица 2.5). Из ФНА следует, что интенсивность возникновения верхнего события (первого уровня) должна быть больше или равной $\lambda_1 \leq 10^{-9}$.

При таких условиях, события второго уровня должны иметь значения:

$$\lambda_2 = \lambda_1 / 2 = 10^{-9} / 2 = 5 \times 10^{-10}$$

События третьего уровня должны иметь значения:

$$\lambda_3 = \sqrt{\lambda_2} = 2,236 \times 10^{-5}$$

События четвертого уровня должны иметь значения:

$$\lambda_4 = \lambda_3 / 2 = 1,118 \times 10^{-5}$$

Таким образом получаем значения уровня надёжности для элементов проектируемой системы. Сведем результаты в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Бюджет безопасности компонентов проектируемой системы

Компонент системы	Требуемый уровень надёжности компонента, λ
Датчик оборотов Д1	$\lambda_{Д} = 5 \times 10^{-10}$
Указатель У1 (У2)	$\lambda_{У} = 1,118 \times 10^{-5}$
Электропроводка Э	$\lambda_{Э} = 1,118 \times 10^{-5}$

Анализ полученных данных показывает, что необходимый уровень надёжности датчика очень высок, а также датчик является «слабым звеном» в данной системе. Прменив алгоритм оценки риска делаем вывод, что риск отказа датчика неприемлем т.к. единичный отказ приведет к катастрофической ситуации. Следовательно необходимо доработать архитектуру системы.

Для этого после проведенной предварительной оценки безопасности системы подразделение надёжности уведомляет конструкторские отделы о необходимости доработки системы.

Предположим, что после проведения мероприятий по устранению конструктивных недостатков, согласно новой РКД формируется логическая блок-схема 2. Предположим, что в состав системы вошли:

- датчик оборотов 2 шт. (Д1 и Д2);
- указатель оборотов 2 шт. (У1 и У2);
- электропроводка (Э).

Построим блок-схему 2 доработанной системы (рис. 2.4).

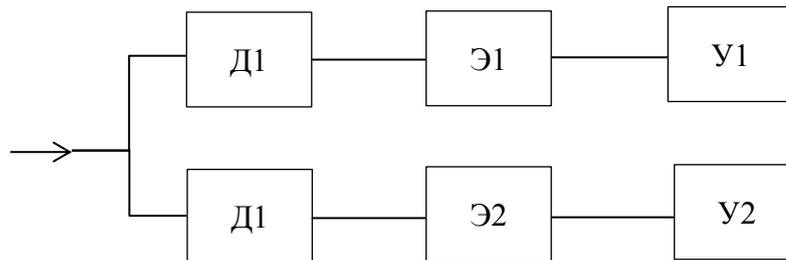


Рис. 2.4 – Блок-схема 2

Аналогичным образом проводится АВПО (таблица 2.9), строится дерево неисправности для блок-схемы №2 (рис. 2.5) и проводится бюджетирование системы.

Таблица 2.9 – Анализ видов и последствий отказов

Функциональная единица	Вид отказа	Последствие отказа на систему	Последствие отказа на вертолет
Д1 (Д2)	Отказ датчика	Отсутствует прием информации о текущих оборотах НВ по одному каналу	Частичная потеря информации. Отсутствует отображение информации об оборотах НВ у одного пилота
Э1 (Э2)	Обрыв электропровода	Отсутствует передача информации по одному каналу	Частичная потеря информации. Отсутствует отображение информации об оборотах НВ у одного пилота
У1 (У2)	Отказ указателя	Отсутствует отображение информации по одному каналу	Частичная потеря информации. Отсутствует отображение информации об оборотах НВ у одного пилота

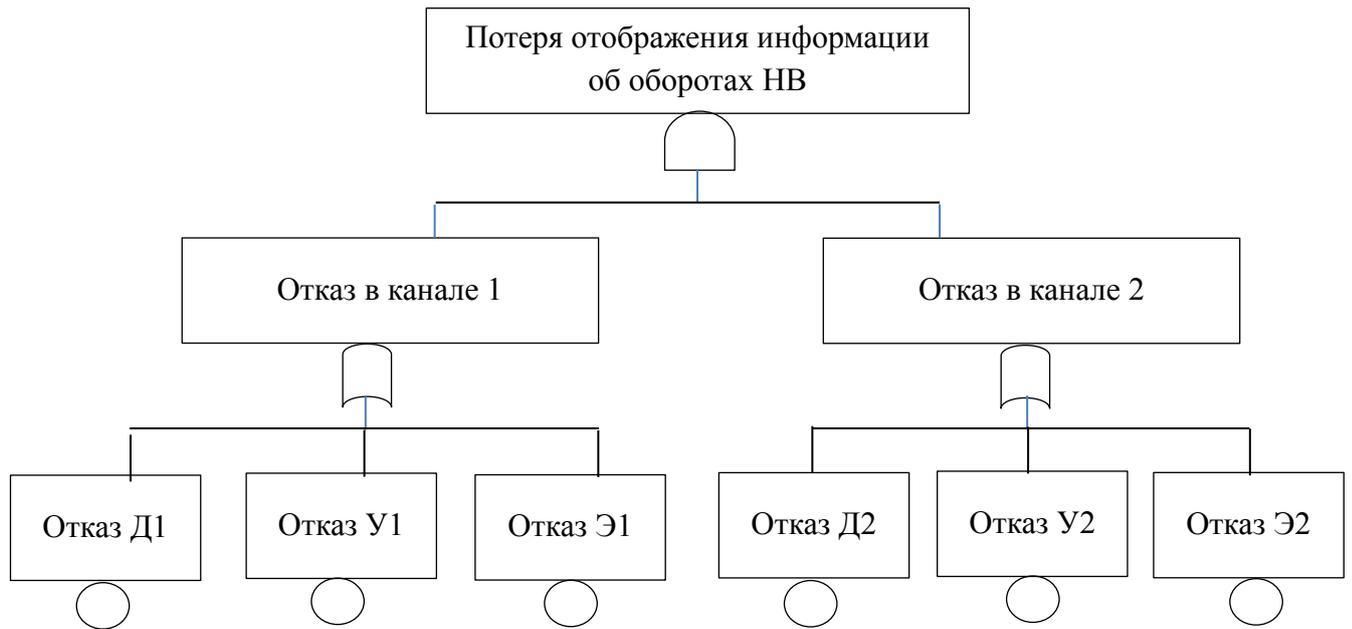


Рис. 2.5 – Дерево неисправности для блок-схемы 2

Проведем бюджетирование безопасности для блок-семы 2.

При таких условиях, события второго уровня должны иметь значения:

$$\lambda_2 = \sqrt{\lambda_1} = 3,162 \times 10^{-5}$$

События третьего уровня должны иметь значения:

$$\lambda_3 = \lambda_2 / 3 = 1,054 \times 10^{-5}$$

Таким образом получаем значения уровня надёжности для элементов проектируемой системы. Сведем результаты в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 – Бюджет безопасности компонентов проектируемой системы

Компонент системы	Требуемый уровень надёжности компонента
Датчик оборотов Д1 (Д2)	$\lambda_D = 1,054 \times 10^{-5}$
Указатель У1 (У2)	$\lambda_U = 1,054 \times 10^{-5}$
Электропроводка Э	$\lambda_E = 1,054 \times 10^{-5}$

Анализ полученных данных показывает, что блок-схема 2 является приемлемой с точки зрения устойчивости к риску и с точки зрения уровня надёжности компонентов.

Подразделение надёжности утверждает блок-схему 2 в качестве приемлемой схемы, после чего начинается окончательная разработка системы. Конструкторские подразделения выбирают готовые компоненты или проектируют новые, если это необходимо. После создания РКД с литерой О1 подразделение надёжности проводит Оценку безопасности системы (SSA) для демонстрации соответствия системы предъявляемым требованиям по безопасности.

Предположим, что были выбраны покупные комплектующие изделия имеющие свои показатели надёжности (табл. 2.11).

Таблица 2.11 - Уровни надёжности компонентов

Компонент системы	Тип КИ	Уровень надёжности компонента
Датчик оборотов	Датчик «Д1»	$\lambda_{д1} = 7,6 \times 10^{-5}$
Указатель	Указатель «У1»	$\lambda_{у1} = 9,2 \times 10^{-5}$
Электропроводка	Электропровод марки «Э»	$\lambda_{э} = 0,4 \times 10^{-7}$

Произведем расчет вероятности отказа системы по имеющимся данным.

$$\lambda_c = (\lambda_{д1} + \lambda_{у1} + \lambda_{э}) \times (\lambda_{д1} + \lambda_{у1} + \lambda_{э})$$

где λ_c – интенсивность отказа системы.

$$\begin{aligned} \lambda_c &= (7,6 \times 10^{-5} + 9,2 \times 10^{-5} + 0,4 \times 10^{-7}) \times (7,6 \times 10^{-5} + 9,2 \times 10^{-5} + 0,4 \times 10^{-7}) = \\ &= 1,68 \times 10^{-4} \times 1,68 \times 10^{-4} = 2,82 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

Сопоставим полученный показатель с матрицей риска (таблица 2.3). Полученное значение интенсивности отказов есть индекс частоты проявления ОС. Для полученного показателя λ_c индекс частоты проявления ОС $P_C=2$, при этом согласно ФНА особая ситуация оценена как КС для которой $S_C=5$.

Рассчитаем индекс риска:

$$R = S_C \times P_C = 2 \times 5 = 10$$

Согласно таблице 2.4 полученный индекс риска попадает в недопустимую зону. Требуется мероприятия по повышению уровня надёжности компонентов системы или изменение ее архитектуры.

Предположим, что были произведены мероприятия по замене некоторых КИ на более высоконадежные (таблица 2.12).

Таблица 2.12 - Уровни надёжности новых компонентов

Компонент системы	Тип КИ	Уровень надёжности компонента
Датчик оборотов	Датчик «Д1-1»	$\lambda_{\text{Д}} = 5,4 \times 10^{-6}$
Указатель	Указатель «У1-1»	$\lambda_{\text{У}} = 2,8 \times 10^{-6}$
Электропроводка	Электропровод марки «Э»	$\lambda_{\text{Э}} = 0,4 \times 10^{-7}$

Произведем расчет вероятности отказа системы с доработанными компонентами:

$$\lambda_{\text{с}} = (\lambda_{\text{Д1-1}} + \lambda_{\text{У1-1}} + \lambda_{\text{Э}}) \times (\lambda_{\text{Д1-1}} + \lambda_{\text{У1-1}} + \lambda_{\text{Э}})$$

где $\lambda_{\text{с}}$ – интенсивность отказа системы.

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{с}} &= (5,4 \times 10^{-6} + 2,8 \times 10^{-6} + 0,4 \times 10^{-7}) \times (5,4 \times 10^{-6} + 2,8 \times 10^{-6} + 0,4 \times 10^{-7}) = \\ &= 8,24 \times 10^{-6} \times 8,24 \times 10^{-6} = 6,79 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

Сопоставим полученный показатель с матрицей риска (таблица 2.3). Полученное значение интенсивности отказов есть индекс частоты проявления ОС. Для полученного показателя $\lambda_{\text{с}}$ индекс частоты проявления ОС $P_{\text{с}}=1$, при этом согласно ФНА особая ситуация оценена как КС для которой $S_{\text{с}}=5$.

Рассчитаем индекс риска:

$$R = S_{\text{с}} \times P_{\text{с}} = 1 \times 5 = 5$$

Согласно табл. 2.4 полученный индекс риска попадает в приемлемую зону.

Заключение по результатам анализа отказобезопасности:

Разработанная система индикации оборотов несущего винта соответствующая блок-схеме №2 состоящая из доработанных компонентов удовлетворяет требованиям по безопасности.

Помимо ФНА, АВПО, ФТА и расчетов анализ отказобезопасности включает в себя дополнительные инструменты по анализу влияния отказов на проектируемое ВС и его функциональные системы. При этом один и тот же вид анализа может распространяться как на уровень ВС так и на уровень системы (таблица 2.13).

Таблица 2.13 – Виды анализов входящие в анализ отказобезопасности

Название	Кратное обозначение	Уровень анализа
Оценка функциональной опасности	FHA	уровень ВС
		уровень системы
Предварительная оценка безопасности	PASA	уровень ВС
	PSSA	уровень системы
Оценка безопасности	ASA	уровень ВС
	SSA	уровень системы
Анализ дерева неисправности	FTA	уровень системы
Анализ видов и последствий отказов	АВПО (FMEA)	уровень системы
Сводка видов и последствий отказов	FMES	уровень системы
Анализ общих причин	CCA	уровень ВС или системы
Анализ общего режима	CMA	уровень ВС или системы
Анализ специфического риска	PRA	уровень ВС или системы
Анализ зонной безопасности	ZSA	уровень ВС или системы

В частности, ССА определяет отдельные виды отказов или внешние события, которые могут привести к катастрофическим или аварийным отказным состояниям. Такие события общей причины должны быть предотвращены для катастрофических отказных состояний и должны быть в разработанном бюджете вероятности для аварийных отказных состояний.

ССА подразделяется на три типа:

- Анализ зонной безопасности (ZSA);
- Анализ специфического риска (PRA);
- Анализ общего режима (CMA).

Целью анализа является получение гарантий, что размещение оборудования отвечает требованиям по безопасности.

Специфические риски определяются как события или воздействия внешние по отношению к рассматриваемой системе (системам), объекту (объектам), которые могут нарушить утверждаемую независимость. Типичные риски включают, но не ограничиваются такими ситуациями как пожар, утечка жидкости, град, снег,

дождь, столкновение с птицей, удар молнии, радио поля высоких энергий, расцепление валов и д.р.

Анализ общего режима выполняется для проверки того, что И-события в ФТА являются независимыми в существующей реализации. Анализируются воздействия ошибок проектирования, производства, обслуживания и отказы компонент систем, которые разрушают такие независимости.

На этапах эксплуатации ВС оценку и управление рисками применяют в сфере ТОиР, а также при полётах с использованием типовых минимальных перечней оборудования – ТМПО (MMEL – Master minimum equipment list). Периодичность и состав работ по осмотру, обслуживанию и ремонту ВС определены информацией по планированию технического обслуживания. ИПТО и ТМПО составляются по результатам проведенного анализа отказобезопасности с применением концепции управления рисками [6].

В сфере технического обслуживания ВС метод управления рисками предполагает количественный и качественный анализ с учётом финансовых затрат на работы по ТОиР ВС. Такой анализ основывается на относительной значимости различных задач и работ, проводимых при ТОиР, и является средством постоянной оптимизации РО.

Совершенствование РО осуществляется путём устранения излишних операций (работ) и/или оптимизацией периодичности их проведения. Для операций, которые связаны с обслуживанием агрегатов, отнесенных к категории особо ответственных частей, могут вводиться дополнительные работы. Такие работы вызваны необходимостью предотвратить скрытые или неявные дефекты и отказы, которые не диагностируются средствами встроенного контроля и не видны при предполётной подготовке. Техническое обслуживание на основе оценки рисков позволяет оценить уровень текущего риска и проанализировать стоимость и выгоду мероприятий, выполняемых с целью уменьшения отказов [97, 99].

2.3. Модель формирования плана технического обслуживания и ремонта воздушных судов на основе результатов анализа отказобезопасности

Конструирование ВС и разработка СТЭ тесно связаны. Выбор оптимальных конструкторских решений можно описать схемой (рис. 3.). Модель проектирования ВС и формирования плана его ТОиР должна заключаться в поиске оптимальных конструкторских решений, способных обеспечить наивыгоднейшую модель обслуживания в ОУЭ.

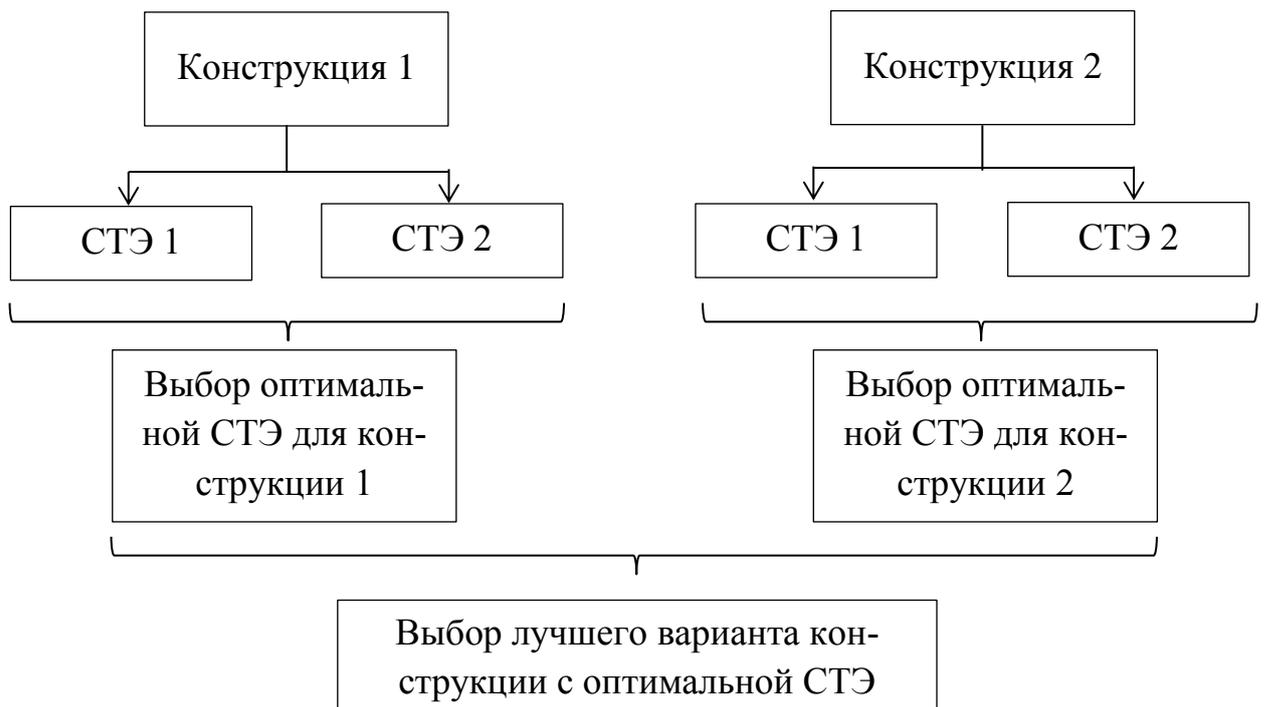


Рис. 2.6 - Схема выбора оптимальных конструкторских решений

Стремительное возрастание сложности авиационных систем выдвигает на первый план вопросы организации технического обслуживания и ремонта ВС. Программа ТОиР устанавливает:

- принятые методы и режимы ТЭ вертолёта, характеризующие его фактические эксплуатационно-технические характеристики во взаимосвязи с документацией, средствами и исполнителями;
- порядок обеспечения и корректировки указанных характеристик с начала эксплуатации и до списания ВС.

Общий алгоритм формирования программы ТОиР представлен на рис. 2.7.



Рис. 2.7 - Общий алгоритм формирования программы ТОиР

Программа ТОиР является основой для разработки эксплуатационной и ремонтной документации с условием внедрения на эксплуатационных и ремонтных предприятиях заказчика системы ТОиР вертолёта данного типа. Оформление и издание программы ТОиР осуществляется в соответствии с требованиями [20-21, 24].

При формировании программы ТОиР уделяют внимание следующим вопросам:

- ожидаемым условиям технической эксплуатации;
- эксплуатационно-техническим характеристикам ВС как объекта ТОиР;
- плану ТОиР ВС;
- материально-техническому обеспечению ТОиР;
- информационному обеспечению ТОиР;
- эффективности программы ТОиР.

Широкое применение в зарубежном гражданском авиастроении получила методика «Оценка и разработка программы технического обслуживания», которая имеет аббревиатуру MSG и расшифровывается как «Maintenance Evaluation and Program Development» [97]. В отечественном же авиастроении применялась методика формирования плана ТОиР функциональных систем ЛА [53].

Следуя руководству MSG-3, программа ТОиР разрабатывается и формируется на основе логического анализа, основанного на оценке последствий отказа и ориентированного на эффективный выбор типа и периодичности работ по ТОиР, а также на распределение агрегатов, блоков и узлов по стратегиям технической эксплуатации.

Логический анализ проводится методом оценки возможных последствий функциональных отказов по философии «сверху-вниз» (системы > подсистемы > агрегаты). Отказы классифицируются на несколько групп, для каждой из которых проводится анализ применимости и необходимости проведения профилактических работ по ТОиР. Классификация устанавливает подкатегории отказов очевидных (явных) для летного экипажа или скрытых (неявных) для него, а также их влияние на безопасность, экономичность и возможность соблюдения регулярности пролетов.

Как зарубежные, так и отечественные методики формирования программы ТОиР, предназначены для гражданской авиации и основной целью ставят поддержание требуемого уровня безопасности и повышение экономической эффективности. Это неприменимо для вертолётов государственной авиации, где помимо перечисленных показателей, на первый план выходят вопросы боеготовности [39,41], т.е. способности инженерно-авиационного состава в любых условиях обстановки привести свои силы и средства в состояние, обеспечивающее своевременное начало и успешное выполнение задач инженерно-авиационного обеспечения боевых действий.

Ожидаемые условия эксплуатации воздушных судов.

Одной из ключевых характеристик, рассматриваемых разработчиком ВС

при создании новых или модернизации существующих моделей являются предполагаемая среда эксплуатации воздушного судна - ожидаемые условия эксплуатации.

Перечень ОУЭ ВС создаются на этапе его проектирования с целью определения граничных параметров в пределах, которых должно оцениваться соответствие вертолѐта требованиям авиационных правил. Адекватность расчетных, ожидаемых и реальных условий эксплуатации обеспечивает качество лѐтной и технической эксплуатации вертолѐта и характеризует неизменность действующих в РЛЭ и системе ТЭ ограничений по этапам жизненного цикла вертолѐта. Несответствие этих условий приводит к изменению качества эксплуатации и эффективности применения вертолѐта, что может существенным образом повлиять на безопасность полѐтов, вплоть до прекращения использования ВС по назначению. Это обусловлено требованиями авиационных правил (норм лѐтной годности) к безопасности полѐтов.

ОУЭ это условия, которые стали известны из практики или возникновение которых можно предвидеть на время срока службы ВС с учетом его назначения. Эти условия зависят от метеорологического состояния атмосферы, времени суток, района применения и рельефа местности, задач решаемых ВС, квалификации лѐтного и обслуживающего персонала и всех прочих факторов, влияющих на безопасность полѐта.

ОУЭ для ВС используются в качестве области расчетных условий, определенных нормами лѐтной годности (авиационными правилами), и эксплуатационных ограничений, а также рекомендуемых режимов полѐта, установленных для данного типа ВС при его создании и сертификации.

Ограничения на эксплуатацию ВС установлены для создания безопасных условий жизни и здоровья лѐтного и технического персонала, обеспечения безопасности полѐтов на всех этапах эксплуатации данного типа ВС до выработки ресурса и списания. Основой нормирования условий эксплуатации являются действующие требования стандартов (сертификационный базис), инструкций государственных ведомств, контролирующих эксплуатацию ВС, техническое задание

на создание ВС, а также опыт эксплуатации ВС подобного класса.

1. Условия эксплуатации ВС включают следующие группы эксплуатационных факторов:

- внешние эксплуатационные факторы;
- условия технического обслуживания и ремонта;
- требования к техническому обслуживанию и ремонтно-восстановительным работам.

Внешние эксплуатационные факторы содержат ограничения на эксплуатацию ВС, определяемые внешними воздействиями и нагрузками на ВС в процессе летной эксплуатации или при ТОиР, и включают в себя:

- параметры состояния (условия) внешней среды;
- варианты применения ВС;
- параметры летной эксплуатации.

2. Условия внешней среды содержат ограничения на состояние внешней среды (атмосферы, почвы, воды и др.), определяющие нормальные условия технической эксплуатации ВС в том числе:

- климатические (температура, влажность, скорость ветра, град, пыль и др.);
- химические;
- электромагнитные (излучение);
- факторы, определяющие условия деятельности технического персонала при проведении ТОиР ВС в соответствии с общими требованиями охраны труда и техники безопасности.

3. Варианты применения ВС отражают основные условия его использования по назначению, при которых обеспечивается эффективная эксплуатация на уровне заявленных показателей при сохранении и поддержании летной годности конструкции ВС на весь период эксплуатации каждого ВС до списания. В процессе эксплуатации возможно изменение варианта применения с соответствующим переоборудованием ВС.

4. Ожидаемые значения параметров летной эксплуатации включают в себя перечень и предельные значения параметров полёта, выход за пределы, которых

вызывает необходимость выполнения специального технического обслуживания ВС, контрольный осмотр или приостановку (прекращение) летной эксплуатации до решения вопроса о возможности дальнейшей эксплуатации ВС.

5. ВС может быть допущено к выполнению полётов в различных географических условиях:

- над равнинно-холмистой, горной, малоориентирной местности, водной поверхностью и т.д.;

- по правилам визуального полёта (ПВП);

- по правилам полёта по приборам (ППП);

- на местных воздушных линиях I и II категории, воздушных трассах РФ и СНГ, международных линиях и маршрутах, проходящих вне воздушных трасс с аэродромов, вертодромов и необорудованных площадок.

6. Опыт применения АТ позволяет оценить повторяемость полётных операций по таким параметрам, как высота, продолжительность полётов, коммерческая нагрузка (взлётная масса).

Так например, по данным расшифровки бортовых самописцев, предоставленным 10 организациями эксплуатирующими вертолёты типа Ми-8, произведен расчет и построены графики (рис. 2.8-2.10) распределения параметров полётных операций по трем показателям:

- повторяемости полётов по высотам,
- средняя продолжительность полётов,
- повторяемость взлётных весов.

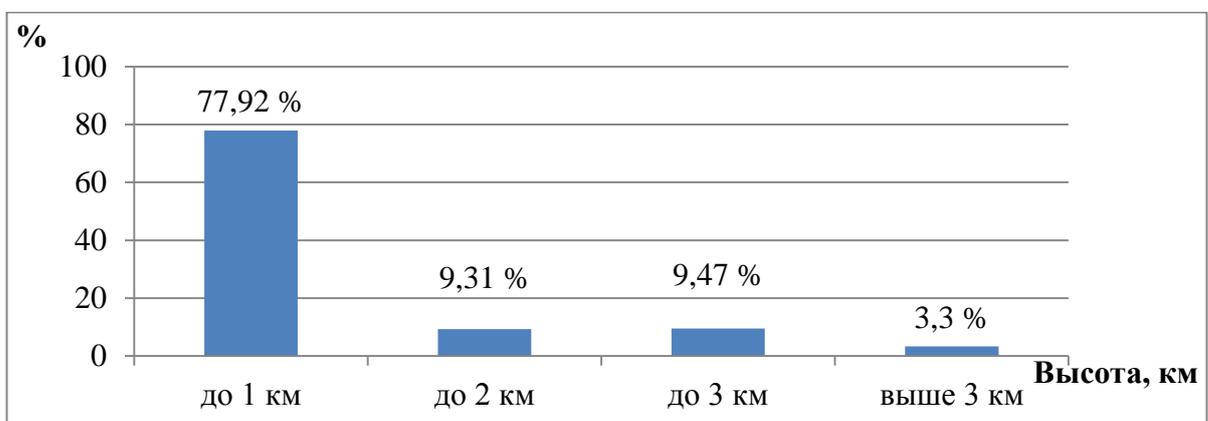


Рис. 2.8 - Повторяемость полётных операций вертолётов типа Ми-8 по высотам

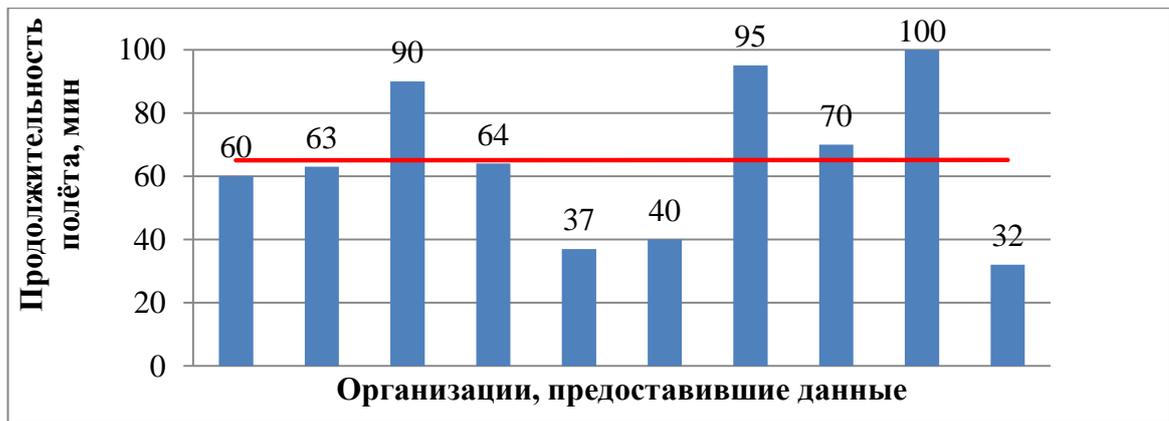


Рис. 2.9 - Повторяемость полётных операций вертолётов типа Ми-8 по средней продолжительности полётов

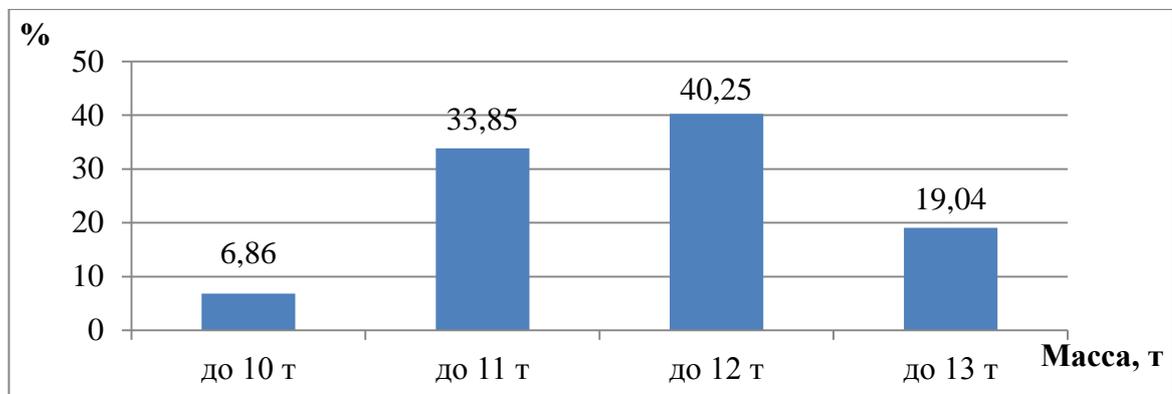


Рис. 2.10 - Повторяемость полётных операций вертолётов типа Ми-8 по взлётной массе

Анализ данных показывает:

- почти 78% полётов происходит на высотах до 1000 м;
- средняя продолжительность полётов составляет 65,1 мин;
- более 40% полётов производятся со взлётной массой 11-12 т.

Определение ожидаемых условий эксплуатации вертолёта

В настоящее время в России существует необходимость создания вертолёта следующего поколения, конкурентоспособного на мировом авиационном рынке. Для обоснования выбора ОУЭ, обратимся к климатической карте (Рис 2.11) из которой видно, что более 60% территории Российской Федерации относится к регионам Крайнего Севера и местностям, приравненным к ним. Здесь вертолёт, зачастую, является единственным средством обеспечения транспортной доступности.



Рис. 2.11 – Климатическая карта России

На примере авиакомпании АО «ЮТэйр-Вертолётные услуги», можно увидеть (рис. 2.12) места базирования вертолётов.

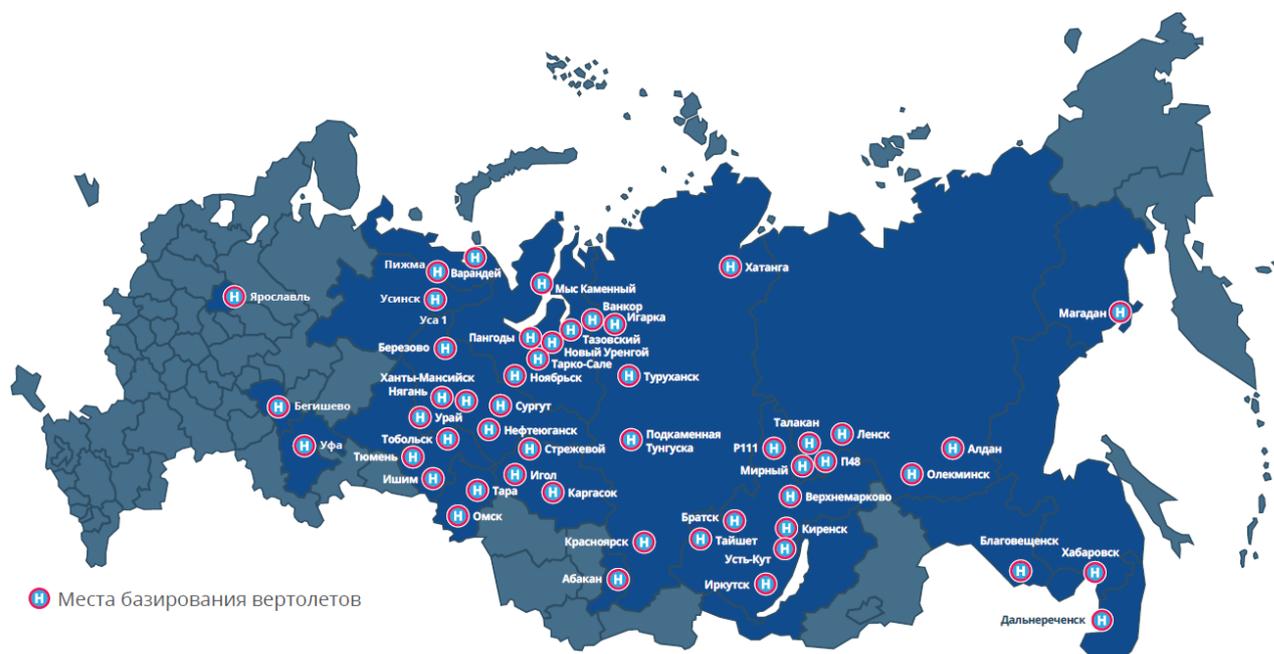


Рис. 2.12 – Вертолётные площадки АО «ЮТэйр-Вертолётные услуги»

При рассмотрении условий эксплуатации вертолётов в указанных районах установлено, что более 80% времени в течение года полёты выполняются в критических климатических условиях, связанных, в том числе, и с повышенными рисками при полётах в слабоориентируемой местности и посадке на необорудованные, в том числе и средствами радионавигации, вертодромы и площадки.

Для выбора параметров лётных и эксплуатационно-технических характеристик в указанных регионах разработчик ВС должен определить параметры ОУЭ. При определении параметров ОУЭ для конкретного проекта конструктор должен сначала определить тип рабочей среды (неблагоприятная или нейтральная), включая метеоусловия. Учитываются следующие факторы:

- вопросы местной топографии,
- метеоусловия и температурный режим,
- ограничения видимости,
- необходимый уровень подготовки лётного экипажа для полётов в данной среде и для определенной авиационной работы (перевозка пассажиров или груза, работа с внешней подвеской и т.п.),
- полёты по правилам визуальных полётов или по приборам, днем и/или ночью,
- наличие инфраструктуры (аэропорты с искусственной ВПП, или вертолётные площадки, системы захода на посадку и средства навигации),
- система связи,
- защита людей на борту после незапланированной посадки,
- поисково-спасательные ресурсы в районе производства работ.

Неблагоприятная среда – это среда, при которой невозможно гарантировать успешную аварийную посадку, либо людей на борту невозможно адекватно защитить от стихий, либо невозможно обеспечить поисково-спасательные операции.

Разработчик вертолёта по существующим нормативным требованиям должен сформировать облик вновь создаваемого типа, на основании следующих методик:

1. Управления надежностью систем и оборудования вертолёта. При этом учитываются результаты анализа влияния критических эксплуатационных факторов на ЭТХ вертолёта и изменение его технического состояния и возможность эксплуатации в экстремальных климатических условиях.

2. Снижения риска возникновения особых ситуаций при производстве полётов в экстремальных условиях. Достигается за счет совершенствования конструк-

тивно-технологических параметров конструкции функциональных систем вертолёт и инфраструктуры системы эксплуатации.

3. Оценки уровня безопасности полётов. Проводится с учётом эксплуатации вертолёт в экстремальных условиях.

4. Оптимизации процесса технической эксплуатации вертолёт по критериям эффективности. Проводится с учетом экстремальных условий эксплуатации.

Исходя из анализа повторяемости условий эксплуатации (рис. 2.8-2.11) сформируем таблицу типового полёта вертолёт (таблица 2.14), в которой разделим его по этапам. Продолжительность полёта примем равной 1 час.

При проектировании вертолёт Ми-171А2 учитывались требования ОУЭ. Согласно [12] вертолёт предназначен для выполнения полетов от 90° с.ш. до 90° ю.ш. с грузами внутри фюзеляжа: в диапазоне температур от -50 °С до +50 °С; по ПВП и ППП; днем и ночью; в зонах обледенения, грозовой деятельности и сильных ливневых осадков; в горной и малоориентирной местности; для полетов над водной поверхностью.

Таблица 2.14 – Этапы типового полёта вертолёт

Этапы полёта	Диапазон высота, м	Фазы полёта	Диапазон скоростей полёта, V км/час	Время	
				(мин)	(сек)
1.	H=0	Запуск двигателей и вы- руливание	V=0		
2.	H=[0; 300]	Взлёт	V=[0; 150]	2	20
	а H=[0; 10]	Висение	V=0		20
	б H=[10; 150]	Взлёт	V=[0; 60]	1	
в H=[150; 300]	V=[60; 150]		1		
3.	H=[300; 1000]	Набор высоты	V=[150; 230]	10	
4.	H=1000	Крейсерский полет	V=250	22	40
5.	H=[1000; 300]	Снижение	V=[120; 160]	12	
6.	H=[300; 0]	Заход на посадку, посадка	V=[160; 0]	11	
	а H=[300; 10]	Заход на посадку	V=[160; 0]	10	50
	б H=[10; 0]	Посадка	V=0		10
	в H=[60; 300]	Уход на второй круг	V=[80; 160]	2	
7.	H=0	Заруливание и выключе- ние двигателей	V=0		
Итого:				60	0

Выводы по главе 2

1. Применение концепции «приемлемого риска» на этапе проектирования дает возможность прогнозировать и оценивать безопасность эксплуатации ВС до его запуска в серийное производство и передачи потребителю.

2. Разработанный алгоритм выбора метода технической эксплуатации компонентов вертолѐта и применение концепции приемлемого риска позволяет обосновать вид и периодичность технического обслуживания конкретного компонента. Проанализировав методы ТЭ всех компонентов можно сделать заключение о применяемой к рассматриваемому вертолѐту определенной стратегии эксплуатации.

3. Анализ ожидаемых условий эксплуатации показывает их широкий спектр, из чего можно сделать вывод о необходимости разрабатывать гибкую стратегию технической эксплуатации ВС. Стратегия ТЭ ВС ориентированная на его применение в определенном регионе под определенные задачи позволит достичь более приемлемой СЖЦ.

ГЛАВА 3. ИННОВАЦИОННЫЙ ПЛАН ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВЕРТОЛЁТНОЙ ТЕХНИКИ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

3.1. Учет данных бортовых систем контроля в модели технической эксплуатации «по состоянию»

Встроенные системы контроля позволяют регистрировать большое количество параметров, которые впоследствии можно анализировать [17, 88]. В зависимости от характера параметров их используют в разных целях. Укрупненно их можно разделить на три группы:

1. Текущая информация об изменении наработки воздушного судна
2. Параметрическая информация
3. Сведения об отказах и неисправностях.

Автоматизация сбора и учета данных параметров позволяет сократить временные издержки [94]. Так, например, автоматизация переноса и учета информации об изменении наработки ВС в электронный формуляр (электронное дело изделия) позволит сократить время его заполнения и уберет ошибку «человеческого фактора» при переносе данных. Автоматизированный перенос данных в электронный формуляр вертолёт позволяет минимизировать риск ошибки ввода данных по причине «человеческий фактор».

Расшифровка полётной информации производится после каждого полета. Обработка данных полученных по результатам контроля дает сведения о текущем техническом состоянии систем вертолёт. При отсутствии ошибок и замечаний по результатам диагностики можно делать вывод о исправности системы. В случае наличия ошибок – необходимо проверить систему. Таким образом часть постоянных работ по осмотру и проверке систем можно заменить работы «по необходимости», что сократит трудоемкость обслуживания.

На вертолёте Ми-171А2 система СОКД-171М имеющая в своем составе 16 датчиков вибрации, 7 комбинированных датчиков измерения вибрации и темпе-

ратуры, 2 датчика вращения, а также посредством датчиков и систем из состава вертолёта принимает и регистрирует 107 параметров и сигналов, 52 бинарных сигнала, 36 высокочастотных параметра. Система принимает информацию о:

- дате начала и окончания полёта;
- продолжительности полёта;
- количества посадок;
- режимах работы двигателя и их наработке.

Описание принимаемых параметров и сравнение системы с аналогами приведены в разделе 1.3.

3.2. План технического обслуживания и ремонта вертолётов на основе концепции «приемлемого риска»

На этапе проектирования ВС параллельно с разработкой его конструкции формируется система ТЭ, разрабатываются эксплуатационные документы [20]. Регламент обслуживания определяет количество и периодичность видов работ, которые в свою очередь определяют потребность количества расходных материалов. Совершенствование системы ТОиР заключается в формировании эффективных программ ТОиР, определении стратегий технической эксплуатации ВС и составных частей, видов и периодичности работ по ТО.

Основная задача ТОиР - поддержание лётной годности и подготовка ВС к использованию по назначению при условии обеспечения требуемых уровней надежности и регулярности полётов [33]. Задачи по выбору оптимальной системы ТЭ и формированию периодичности работ по ТО предлагается решать с помощью анализа отказобезопасности на основе оценки рисков. Определения и понятие рисков описано в разделе 2.1.

Анализ отказобезопасности включает в себя два ключевых фактора для решения задач по выбору модели ТОиР:

- 1) определение и классификация тяжести последствий отказных состояний ВС, его систем и оборудования;
- 2) выбор перечня работ по ТОиР.

Исходными данными для анализа отказобезопасности являются ОУЭ и типовая конструкция ВС. Типовой конструкцией определяется перечень систем и агрегатов, логическая и функциональная взаимосвязь между ними. Путем анализа определяется перечень функциональных отказов и описывается их влияние на ВС и экипаж в ОУЭ [78].

На основе полученного качественного анализа производится расчет безотказности функциональных систем. Исходными данными для расчета являются сведения по надёжности агрегатов и изделий, входящих в систему. Результаты анализа позволяют сформировать технически и экономически обоснованный перечень работ по ТО.

Требования по безопасности полётов определены в нормах лётной годности. Они устанавливают соответствующие уровни по надёжности ВС, которые определяются вероятностью возникновения особой ситуации (возникает в полёте в результате воздействия неблагоприятных факторов или их сочетаний и приводит к снижению безопасности полётов).

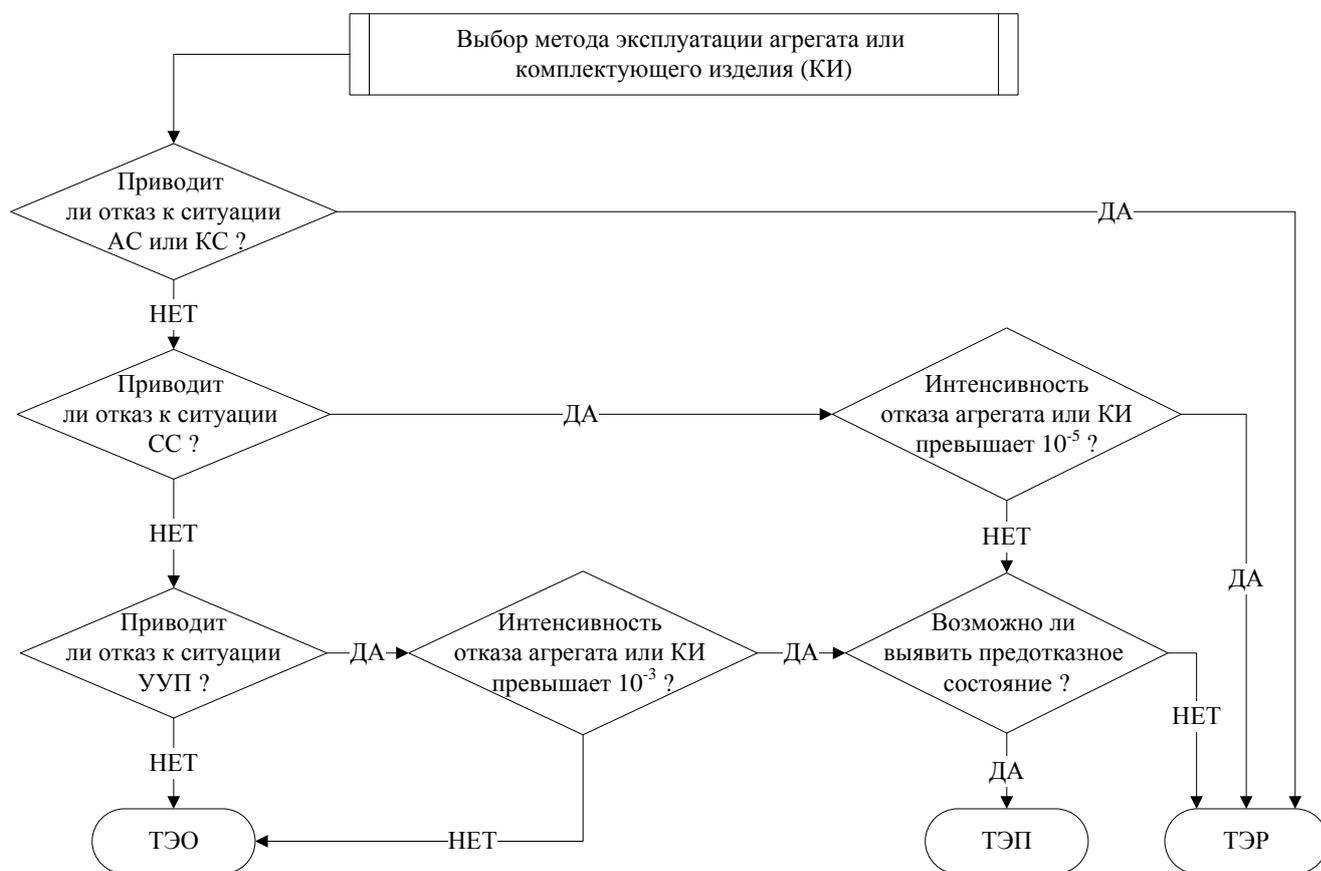


Рис. 3.1 - Алгоритм выбора метода ТЭ ВС

Процесс выбора метода ТЭ ВС, функциональной системы и её элементов представляет собой сочетание качественного анализа видов и последствий отказов с их количественной оценкой. Используя результаты количественного анализа и применяя их к логической схеме выбора метода ТЭ для каждого агрегата и комплектующего изделия выбирается метод эксплуатации.

Для вертолётa Ми-171А2 проанализированы агрегаты и КИ входящие в 28 функциональных систем, а для вертолётa Ми-38-2 агрегаты и КИ входящие в 27 функциональных систем.

По результатам анализа отказобезопасности [32, 81] сформированы перечни агрегатов с соответствующими методами ТЭ. Анализ показывает, что из всего перечня систем и агрегатов рассматриваемых вертолётов:

- не меньше 5% агрегатов должны эксплуатироваться по ТЭР,
- до 25% агрегатов возможно эксплуатировать по ТЭП,
- не более 70% можно эксплуатировать по ТЭО.

Наиболее характерные комплектующие изделия и агрегаты для разных стратегий эксплуатации приведены в таблица 3.1.

Таблица 3.1 - Перечень агрегатов и КИ

Методы эксплуатации		
ТЭР	ТЭП	ТЭО
Лопаста несущего винта Лопаста рулевого винта Главный редуктор Промежуточный редуктор Вал трансмиссии Втулка НВ Втулка РВ	Усилители частоты УВЧ Приемопередатчики Электродвигатели вентилято- ров Указатель скорости (аэромет- рические)	Системы аварийной регистра- ции параметров Радиовысотомеры Датчики давления Светильники кабинные Контакты

Основой технической эксплуатации по состоянию является максимальное использование запасов работоспособности конструкции и комплектующих изделий вертолётa.

Снижение эксплуатационных затрат при переводе вертолётов на ТЭС обеспечивается:

1. Заменой дорогостоящих и трудоемких плановых заводских (капитальных и средних) ремонтов вертолѐта и его комплектующих в целом видами (формами) периодических (регламентных) работ – контрольно-восстановительными работами.

2. Сокращением потребных объемов обменных фондов запасных частей в связи с отменой назначенных ресурсов и сроков службы (и соответствующих замен и ремонтов) изделий.

3. Уменьшением трудоемкости технического обслуживания и ремонта (ТОиР) вследствие формирования рациональных режимов ТОиР при внедрении методов ТЭС.

Оперативный цикл технического обслуживания представляет собой систему подготовительных работ, осмотров, проверок технического состояния вертолѐта, обеспечивающих исправность, готовность и использование вертолѐта в интервалах между очередными работами по периодическому ТО (регламентными работами). Проводится на стоянке вертолѐта, обеспечивает непосредственное использование вертолѐта по назначению и включает:

- предварительные (вспомогательные) работы;
- работы по осмотру, обслуживанию и контролю технического состояния;
- работы по обеспечению вылета или стоянки вертолѐта.

3.2.1. Существующий план технического обслуживания и ремонта

Оперативные формы технического обслуживания.

Существующий регламент оперативных форм обслуживания представляет из себя перечень работ представленных в таблице 3.2.

Рассмотрим типовое применение вертолѐта.

Учитывая анализ ОУЭ (раздел 2.3), средняя продолжительность полѐта составляет 65,1 мин (раздел 2.3). Примем среднюю продолжительность полѐта – 1 час. Средний годовой налѐт вертолѐта составляет $T_{\text{ГОД}} = 500$ часов. За вычетом выходных и праздничных дней, а так же дней выполнения ТОиР, примем, что за один типовой день выполняется 2 полѐта продолжительностью 1 час.

Таблица 3.2 – Существующие виды оперативных работ

№ п.п	Виды работ	Периодичность и условия выполнения
1	Обеспечение встречи - ВС	- после каждой посадки вертолета с выключением двигателей; - при учебных и тренировочных полетах во время очередных заливок вертолета топливом.
2	Обеспечение стоянки – ОС	- в случае передачи вертолета для технического обслуживания или хранения на время более 2 ч; - при перемещении вертолета на другую стоянку.
3	Обеспечение вылета – ОВ	- непосредственно перед каждым вылетом вертолета независимо от формы произведенного оперативного технического обслуживания
4	Обеспечение первого вылета – ОВ ₁	- при обеспечении первого вылета: если продолжительность стоянки после выполнения оперативного ТО составляет 12 ч и более; - независимо от времени предшествующей стоянки, если накануне по окончании полетов выполнялось обслуживание по форме А1; - после периодического ТО.
5	Осмотр и обслуживание по форме А ₁	- после посадки вертолётa при продолжительности полёта 45 минут и более; - во время очередных дозаливок вертолётa топливом, если интервал между посадками менее 45 минут; - по окончании полётов при суточном налете менее 7 часов.
6	Осмотр и обслуживание по форме А ₂	- по окончании полётов при суточном налете 7 часов и более; - после выполнения любой формы периодического ТО; - после специального ТО.

Таблица 3.3 – Типовое применение вертолётa при существующих видах оперативных работ

Вид работы	ТО	Полёт1	ТО	Полёт2	ТО	Сумм
ВС			0,42		0,42	2
ОС					0,72	1
ОВ			2,13			1
ОВ ₁	3,1					1
А ₁			1,86		1,86	2
А ₂						-
Т, чел-ч	3,1	0	4,41	0	3	10,51
Время полёта, ч		1		1		2

Рассчитаем суммарную трудоемкость обслуживания.

За типовой день 2 раза выполняются работы по форме ВС и A_1 , по 1 разу – работы по форме ОС, ОВ, OB_1 .

Суммарная трудоемкость выполнения цикла подготовок вертолѐта за типовой день составит 10,51 чел/час.

Периодический цикл технического обслуживания.

Проводится для проверки технического состояния вертолѐта и приведения его технических характеристик в соответствие с требованиями действующей эксплуатационной документации, и включает в себя следующие работы:

- регламентные работы (периодическое техническое обслуживание),
- календарное обслуживание,
- контрольно-восстановительные работы,
- работы, проводимые по поэтапному подтверждению ресурсов и/или сроков службы агрегатов и КИ.

Регламентные работы построены по пирамидальному типу, т.е. каждая последующая форма включает работы всех предыдущих форм. Для вертолѐта установлено базовая форма Ф-1, выполняемая через каждые (75 ± 10) ч налета вертолѐта, и дополнительные работы $\Delta\Phi = 2, 3, 4$ и 5 , необходимость выполнения которых определяется наработкой вертолѐта через каждые 150, 300, 600 ч налета соответственно.

Управление стоимостью жизненного цикла.

В условиях современного мирового рынка вертолѐтов потребители имеют возможность выбора и, рассматривая предложения-аналоги, предпочитают вариант с более низкой первоначальной стоимостью, не обращая внимания на стоимость последующей эксплуатации. Мировой опыт показывает, что конкурентные преимущества вертолѐта на 80% закладываются на этапах проектирования (НИОКР) и изготовления. Остальные 20% зависят от последующих этапов жизненного цикла вертолѐта. Поэтому выбор наилучшего варианта должен производиться с позиции минимизации общей величины затрат за период службы вертолѐта.

Пути повышения эффективности системы ТОиР.

Несмотря на то, что одним из преимуществ вертолётов марки «Ми» является их относительная дешевизна, в настоящее время принципиальным вопросом в споре конкурентов является вопрос не только стоимости приобретения вертолёт, но и вопрос стоимости расходов на его эксплуатацию.

Следовательно, для обеспечения конкурентоспособной привлекательности новых вертолётов в настоящем и будущем необходимо провести работы по повышению эффективности системы ТО, увеличению периодичности выполнения регламентных работ, уменьшению трудоемкости его обслуживания, т.е., в конечном итоге, уменьшению суммарной удельной трудоемкости технического обслуживания и переход на эксплуатацию по состоянию.

3.2.2. Предлагаемый план технического обслуживания и ремонта

Оперативные формы обслуживания

Проведенный анализ отказобезопасности функциональных систем вертолёт Ми-171А2 в части составления перечня работ ТО показывает, что часть работ из существующего оперативного цикла (таблица 3.2) можно сократить и заменить их сокращенным осмотром. Сокращенный осмотр является одним из видов оперативного обслуживания и производится для обеспечения подготовки к полёту с минимальной затратой времени.

Представляется целесообразным в новом регламенте технического обслуживания вертолёт предусмотреть введение следующих форм ТОиР:

1. В оперативных формах технического обслуживания (виды подготовок к полётам и периодический осмотр) предлагается заменить существующие виды работ (таблица 3.2) на виды работ, представленные в таблице 3.2
2. Предусмотреть выполнение работ по оперативному обслуживанию вертолёт, летным экипажем по специальной программе.
3. Ввести Периодический осмотр – проводить его для поддержания исправного состояния вертолёт в межрегламентный период, выполняя работы через каждые 75 часов.

4. Проводить Периодическое ТО (регламентные работы) для проверки технического состояния вертолѐта и приведения его технических характеристик в соответствие с требованиями действующей ЭД. Выполнять регламентные работы на специально оборудованной технической базе, выполняя работы через каждые 150 ± 10 часов налета.

Проанализируем трудоемкость выполнения подготовки в аналогичном цикле типового применения вертолѐта (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Предлагаемые виды оперативных работ

№ п.п	Виды работ	Периодичность и условия выполнения
1	Предполѐтная подготовка - ПП	Проводится непосредственно перед первым полѐтом в соответствии с задачами летного дня.
2	Подготовка к повторному вылету - ПпП	Проводится перед каждым очередным полѐтом в течение летного дня в соответствии с заданием на предстоящий полѐт.
3	Послеполѐтная подготовка - ПсП	Проводится в конце летного дня или после окончания дежурства, независимо от того, состоялись полѐты или нет.

Таблица 3.4 – Типовое применение вертолѐта при предлагаемых видах оперативных работ

Вид работы	ТО	Полѐт1	ТО	Полѐт2	ТО	Сумм
ПП	3,3					1
ПпП			2,4			1
ПсП					2,8	1
Т, чел-ч	3,3		2,4		2,8	8,5
Время полѐта, ч		1		1		2

За типовой день все работы выполняются по 1 разу.

Анализ показывает, что суммарная трудоемкость выполнения подготовки составит 8,5 чел-ч.

В сравнении с существующей стратегией, где суммарная трудоемкость об-

служивания оперативных форм за типовой день составила 10,51 чел-ч снижение трудоемкости по предлагаемому варианту достигает 19,12%.

Переход на эксплуатацию «по состоянию» предполагает выполнение следующих условий:

1. Большинство элементов планера и функциональных систем эксплуатируется до безопасного отказа.

2. Определяются перечни элементов планера и функциональных систем, отказы (неисправности) которых влияют на безопасность полёта. Они требуют повышенного контроля при техническом обслуживании, при этом годность к летной эксплуатации определяется их техническим состоянием.

3. Уточняются перечни агрегатов и комплектующих изделий систем, которые эксплуатируются по ресурсу. Предусматривается отстранение их от эксплуатации при достижении определенной наработки или срока службы для последующего ремонта или списания.

4. Предлагается отказаться от терминов «межремонтный ресурс» и «межремонтный срок службы» для планера вертолётa и части агрегатов вертолётных систем с выполнением капитального ремонта.

5. Предлагается заменить капитальный ремонт контрольно-восстановительными работами выполняемыми, в эксплуатации на сертифицированных сервисных центрах или центрах послепродажного обслуживания. Работы проводить через каждые 3000 часов наработки вертолётa по документации разработчика. Форма предусматривает выполнение комплекса работ по оценке и поддержанию технического состояния вертолётa и его систем, замене агрегатов эксплуатируемых «по ресурсу» или продление их ресурсов (сроков службы).

6. Предлагается предусмотреть введение в регламент ТО вертолётa «основной» формы ТО с периодичностью выполнения через каждые 1500 часов наработки вертолётa. Работы по форме предусматривают углубленный контроль технического состояния вертолётa и его систем, замену агрегатов, эксплуатируемых «по ресурсу» или продление их ресурсов (сроков службы).

В последующем в регламенте ТО предусмотреть в зависимости от наработ-

ки вертолѐта (срока службы) добавление дополнительных работ в формы КВР по оценке технического состояния узлов и агрегатов, а также замены элементов функциональных систем, по результатам анализа их надёжности.

3.3. Методы оценки стоимости жизненного цикла воздушного судна

Затраты на техническую эксплуатацию являются значимой составной частью общих затрат на сопровождение ЖЦ (структура затрат в ходе жизненного цикла описана в разделе 1.4). Величина этих затрат является весомой эксплуатационно-технической характеристикой ВС, определяющей его конкурентоспособность.

Принято различать следующие составные части эксплуатационных затрат:

- общие затраты на владение (Life Cycle Costs of Ownership),
- прямые операционные затраты (Direct Operating Costs),
- прямые затраты на техническое обслуживание (Direct Maintenance Costs - DMC).

В затраты на владение включаются: затраты на приобретение ВС, затраты на использование изделия по назначению, затраты на утилизацию и т.д.

Прямые операционные затраты включают в себя все затраты, связанные с использованием ВС по назначению: приобретение топлива, заработная плата персонала, техническое обслуживание и т.д.

Прямые затраты на техническое обслуживание являются составной частью прямых операционных затрат. Стандарты [26-27] предписывают проведение АЛП на стадии разработки ВС. Формируемая база данных в ходе АЛП содержит сведения о конструкции изделия, программу ТО, перечень МТО, а также другие данные. На основе этих сведений может быть рассчитана величина прямых затрат на техническое обслуживание, характеризующая совершенство конструкции ВС и его системы технической эксплуатации.

Расчет может выполняться как на этапе проектирования ВС, так и в ходе его эксплуатации. Анализ прямых затрат на техническое обслуживание в ходе проектирования обычно преследует следующие цели:

- сравнение полученных результатов с изделиями-аналогами для оценки конкурентоспособности проектируемого образца,
- анализ в процессе проектирования структуры затрат и разработка мероприятий по их снижению.

На этапе эксплуатации расчет прямых затрат на техническое обслуживание, как правило, выполняется с целью:

- определения экономически целесообразной цены контрактов на комплексное сервисное обслуживание поставляемой техники;
- определение уровня гарантий, предоставляемых покупателю техники, а также расчет себестоимости работ по обслуживанию на гарантийный период.

Таблица 3.5 - Основные составляющие прямых затрат на ТОиР

Виды затрат	Плановое ТО	Неплановое ТО
Затраты на персонал (затраты на труд):		
- оперативное ТО - замена изделий с ограниченным ресурсом,	+	
- поиск неисправностей, - устранение неисправностей, - регулировка и проверка.		+
Затраты на: - запасные части, - расходные материалы - ремонт компонентов ВС	+	+
Затраты на технологическое и специальное оборудование	+	+
Затраты на инфраструктуру	+	+

Для оценки экономических аспектов разрабатываемого ВС целесообразно проводить расчет стоимости ЖЦ под различные стратегии эксплуатации для возможности выбора оптимальных параметров.

3.3.1. Алгоритм расчета стоимости составляющих ЖЦ

СЖЦ представляет по своей сути калькуляцию ежегодных затрат за весь период эксплуатации и определяется по формуле 3.1. Все составляющие СЖЦ пересчитываются для каждого года (формула 3.2) с учетом коэффициента дискотирования (формула 3.5).

$$C_{\text{жц}}(t_k) = C_{\text{вт}}(t_k) + C_{\text{озс}}(t_k) + C_{\text{утс}}(t_k) + C_3(t_k) + C_{\text{кр}}(t_k) + C_{\text{ут}}(t_k) \quad (3.1)$$

где $C_{\text{вт}}(t_k)$ – стоимость ВС;

$C_{\text{озс}}(t_k)$ – стоимость средств эксплуатации, обслуживания и ремонта (СНО, здания, сооружения, коммуникации), приведенные к одному изделию;

$C_{\text{утс}}(t_k)$ – стоимость средств обучения и тренировки персонала, приведённая к одному изделию;

$C_3(t_k)$ – затраты на эксплуатацию вертолёт, включающие затраты на содержание персонала, запасные части, расходные материалы, необходимые в процессе собственно эксплуатации, технического обслуживания и внеплановых ремонтов (восстановления) и т.п.;

$C_{\text{кр}}(t_k)$ – затраты на капитальный ремонт;

$C_{\text{ут}}(t_k)$ – затраты на утилизацию вертолёт (за вычетом его остаточной стоимости);

При этом, (t_k) – период эксплуатации. Определяется по формуле 3.2.

$$t_k = \sum_{i=1}^k t_i \quad (3.2)$$

где:

i – текущий год периода в диапазоне $1 < i < k$;

k – последний год периода.

Переменные, входящие в формулу 3.1, представляет собой сумму ряда слагаемых, определяемых более детальной градацией затрат. Суть расчета СЖЦ состоит в раскрытии содержания и корректном определении всех статей затрат, их суммировании с правильным учетом дисконтирования. Совокупность этих расчетных зависимостей образует модель СЖЦ.

Стоимость вертолёт, приведённая к расчётному k -ому году:

$$C_{\text{вт}}(t_k) = \frac{C_{\text{вт}}(0)}{T} \sum_{i=0}^k D(t_k) \quad (3.3)$$

где $C_{\text{вт}}(0)$ - стоимость вертолёт в момент поставки;

T – назначенный срок службы вертолёт;

$D(t_i)$ – коэффициент дисконтирования для k -го года эксплуатации.

$$D(t_i) = \frac{1}{(1 + E)^t} \quad (3.4)$$

где E – норма дисконта (обычно $E=0,05\dots 0,1$);

Общий коэффициент дисконтирования вычисляется по формуле

$$D(t_k) = \sum_{i=0}^k D(k), \quad (3.5)$$

а с учётом нормы дисконтирования формула расчёта приобретает вид:

$$D(t_k) = \frac{(1 + E)^t - 1}{E \times (1 + E)^t} \quad (3.6)$$

Расчётная стоимость поставки вертолёт к году:

$$C_{\text{верт}}(t_k) = \frac{C_{\text{вт}}(0)}{t_k} D(t_k) \quad (3.7)$$

Стоимость средств эксплуатации, обслуживания и ремонта (СНО, здания, сооружения, коммуникации), приведенная к одному изделию и к расчётному году:

$$C_{\text{ОЗС}}(t_k) = C_{\text{ПОЗС}}(t_k) + C_{\text{ЭОЗС}}(t_k) \quad (3.8)$$

где $C_{\text{ПОЗС}}(t_k)$ – стоимость приобретения ОЗС;

$C_{\text{ЭОЗС}}(t_k)$ - стоимость эксплуатации ОЗС.

При этом предполагается, что в эксплуатации находятся «N» вертолётов одного типа, приобретённые и введённые в действие одновременно, имеющие одинаковый срок службы. Для их обслуживания и ремонта требуется «K» различных средств ОЗС, приобретённых (построенных, смонтированных) и введённых в действие одновременно с вертолётom. Общая стоимость приобретения всех ОЗС при указанных выше условиях:

$$C_{\text{ПОЗС}}(t_i) = \sum_{j=1}^K C_{\text{ПОЗС}_j}(t_i) \quad (3.9)$$

где $C_{\text{ПОЗС}_j}(t_i)$ стоимость приобретения j-го вида ОЗС в году начала эксплуатации, при $i=0$.

Затраты на эксплуатацию одного ОЗС:

$$C_{\text{ЭОЗС}}(t_k) = \frac{D(t_k)}{N} \sum_{j=1}^K C_{\text{ЭОЗС}_j}^{\text{год}} \quad (3.10)$$

где $C_{\text{ЭОЗС}_j}^{\text{год}}$ – годовые затраты на эксплуатацию ОЗС j-го вида

$$C_{\text{Эозс}}^{\text{год}}(t_k) = 0,01 \times C_{\text{Позс}}(t_i) \times I(t_k) \quad (3.11)$$

где $I(t_k)$ – коэффициент инфляции

$$I(t_k) = 1 + \frac{I \times k}{100} \quad (3.12)$$

Где I – инфляция, %.

Затраты на средства обучения и тренировки персонала:

Эти затраты определяются формулой:

$$C_{\text{УТС}}(t_k) = C_{\text{ПУТС}}(t_k) + C_{\text{ЭУТС}}(t_k) \quad (3.13)$$

где $C_{\text{ПУТС}}(t_k)$ – стоимость приобретения УТС;

$C_{\text{ЭУТС}}(t_k)$ – стоимость эксплуатации УТС.

Суммарные затраты на эксплуатацию всех видов УТС, на один вертолёт отнесённые к расчётному году, определяются по формуле:

$$C_{\text{ЭУТС}}(t_k) = \frac{D(t_k)}{N} \sum_{j=1}^K C_{\text{ЭУТС}_j}^{\text{год}} \quad (3.14)$$

где $C_{\text{ЭУТС}_j}^{\text{год}}$ – годовые затраты на эксплуатацию УТС j -го вида.

Затраты на эксплуатацию вертолёт:

$$C_{\text{Э}}(t_k) = C_{\text{ЭК}}(t_k) + C_{\text{ГР}}(t_k) + C_{\text{ТОиР}}^{\text{пл}}(t_k) + C_{\text{ТОиР}}^{\text{неп}}(t_k) \quad (3.15)$$

где $C_{\text{ЭК}}(t_k)$ – затраты на содержание экипажа;

$C_{\text{ГР}}(t_k)$ – затраты на расходные материалы и ГСМ;

$C_{\text{ТОиР}}^{\text{пл}}(t_k)$ – затраты на плановое и неплановое ТО;

$C_{\text{ТОиР}}^{\text{неп}}(t_k)$ – затраты на неплановое ТО.

Из опыта эксплуатации известно, что затраты на неплановое ТО значительно меньше чем затраты на плановое ТО, но в процессе расчёта СЖЦ их необходимо учитывать или через поправочный коэффициент равный примерно $C_{\text{ТОиР}}^{\text{неп}}(t_k) = 0,03 \dots 0,08 C_{\text{ТОиР}}^{\text{пл}}(t_k)$ или через величину финансовых потерь от внепланового простоя.

Затраты на содержание экипажа:

$$C_{\text{ЭК}}(t_k) = n_{\text{ЭК}} \times C_{1 \text{ чл}}^{\text{год}} \times I(t_k) \times k \quad (3.16)$$

где $C_{1 \text{ чл}}^{\text{год}}$ – средние годовые затраты на одного члена экипажа,

$n_{ЭК}$ – количество членов экипажа

Для ВС гражданского назначения $C_{1чл}^{год}$ определяется как годовая заработная плата, умноженная на коэффициент накладных расходов, учитывающий, помимо иных затрат, налоговые отчисления и отчисления в страховые фонды.

Затраты на расходные материалы и ГСМ вычисляются по формуле:

$$C_{ГРМ}(t_k) = C_{ГСМ}(t_k) + C_{СМ}(t_k) + C_{РМ}(t_k) \quad (3.17)$$

где $C_{ГСМ}(t_k)$ - затраты на ГСМ, определяются по формуле 3.18;

$C_{РМ}(t_k)$ - затраты на расходные материалы (формула 3.29).

$$C_{ГСМ}(t_k) = (C_{ТС}^{1час}(t_k) + C_{СМ}^{1час}(t_k) + C_{М}^{1час}(t_k)) \times T_{ГОД} \quad (3.18)$$

где $T_{ГОД}$ - годовой налёт;

$C_{ТС}^{1час}(t_k)$ – затраты на топливо на час полета;

$C_{СМ}^{1час}(t_k)$ – затраты на смазочные материалы на час полета;

$C_{М}^{1час}(t_k)$ – на час полета затраты на масла.

$$C_{ТС}^{1час}(t_k) = g_T \times Ц_{ТС}(t_k) \quad (3.19)$$

где $Ц_{ТС}(t_k)$ - цена на топливо в k-ый год эксплуатации;

g_T – часовой расход топлива;

Затраты на топливо складываются из двух составляющих:

$$C_{ТС}(t_k) = C_{ТС}^B(t_k) + C_{ТС}^3(t_k) \quad (3.21)$$

где $C_{ТС}^B(t_k)$ - затраты на топливо, расходуемое в воздухе;

$C_{ТС}^3(t_k)$ - затраты на топливо, расходуемое на земле.

$$C_{ТС}^B(t_k) = g_T^B \times Ц_{ТС}(t_k) \times T_{ГОД} \times D(t_k) \quad (3.22)$$

$$C_{ТС}^3(t_k) = g_T^3 \times (1+\xi) \times Ц_{ТС}(t_k) \times T_{ГОД}^3 \times D(t_k) \quad (3.23)$$

$$T_{ГОД}^3 = 0,2 \times T_{ГОД} \quad (3.24)$$

где $T_{ГОД}^3$ – годовая наработка на земле;

$Ц_{ТС}(t_k)$ - цена 1кг топлива, в k-ый год эксплуатации

g_T^B - часовой расход топлива кг/ч в воздухе

g_T^3 - часовой расход топлива кг/ч на земле

ξ - коэффициент, учитывающий нецелевое использование топлива (слив отстоя и т.п.).

$$C_{CM}^{1\text{час}}(t_k) = g_{CM} \times \Pi_{CM}(t_k) \quad (3.25)$$

где $\Pi_{CM}(t_k)$ - цена на смазочные материалы в k -ый год эксплуатации;

Затраты на масло и смазочные материалы определяются по формуле:

$$C_{CM}(t_k) = \sum_{i=1}^n (g_{CM} \times \Pi_{CM}) \times T_{ГОД} \times D(t_k) \quad (3.26)$$

где $C_{CM}(t_k)$ - затраты на смазочные материалы;

g_{CM} - расход на смазочные материалы ($i = 1 \dots n$) приходящийся на 100 часов налёта, согласно норм;

Π_{CM} - цена на смазочные материалы;

$$C_M^{1\text{час}}(t_k) = g_M \times \Pi_M(t_k) \quad (3.27)$$

где $\Pi_M(t_k)$ - цена на масло в k -ый год эксплуатации;

$$C_M(t_k) = \sum_{i=1}^n (g_M \times \Pi_M(t_k)) \times T_{ГОД} \times D(t_k) \quad (3.28)$$

где $C_M(t_k)$ - затраты на масло;

g_M - часовой расход масла кг/ч,

$\Pi_M(t_k)$ - цена за 1 кг масла.

$$C_{PM}(t_k) = P_{100} \times \Pi_{PM}(t_k) \times T_{ГОД} \times D(t_k) \quad (3.29)$$

где P_{100} – нормы расхода на 100 часов налёта.

Затраты на ТОиР:

$$C_{ТО}(t_k) = C_{ПЛ}(t_k) + C_{ВН}(t_k) \quad (3.30)$$

где $C_{ПЛ}(t_k)$ - затраты на плановое ТО;

$C_{ВН}(t_k)$ - затраты на внеплановое ТО.

$$C_{ПЛ}(t_k) = C_{ОО}(t_k) + C_{РР}(t_k) \quad (3.31)$$

$C_{ОО}(t_k)$ - затраты на оперативные обслуживания можно рассчитать по формуле;

$C_{РР}(t_k)$ - затраты на регламентные работы.

Детальный расчет затрат на оперативные обслуживание производится по формуле 3.24:

$$C_{OO}(t_k)_I = \sum(\tau_{1\text{час}}(OO) \times C_{OOi}(t_k) \times T_{\text{ГОД}}) \times И(t_k) \quad (3.32)$$

где $\tau_{1\text{час}}(OO)$ – трудоёмкость выполнения оперативных работ на час налёта;
 $C_{OOi}(t_k)$ – средняя стоимость нормочаса выполнения i -ой работы;

$$C_{PP}(t_k) = \sum(\tau_{1\text{час}}(PP) \times C_{PPi}(t_k) \times T_{\text{ГОД}}) \times И(t_k) \quad (3.33)$$

где $\tau_{1\text{час}}(PP)$ – трудоёмкость выполнения регламентных работ на час налёта;
 $C_{OOi}(t_k)$ – средняя стоимость нормочаса выполнения i -ой работы;

Затраты на капитальный ремонт вертолёта определяются:

$$C_{KP}(t_j) = \sum(\tau_{KP} \times (C_{KPj}(t_j) \times И(t_j))) + C_{PM}(t_j) + 2 \times C_{TP}^{KP} \quad (3.36)$$

где τ_{KP} - трудоёмкость выполнения капитального ремонта;

$C_{KPj}(t_j)$ – средняя стоимость нормо-часа выполнения капитального ремонта

C_{TP}^{KP} – стоимость транспортировки изделия от места эксплуатации до места ремонта (в один конец);

j – «номера» годов выполнения капитального ремонта.

Затраты на утилизацию вертолёта определяются формулой:

$$C_{YT}(t_{YT}) = (Ц_{YT} - C_{OCT} + C_{TP}^{YT}) D(t_{YT}) \quad (3.37)$$

где $Ц_{YT}$ - цена утилизации;

C_{OCT} – остаточная стоимость изделия;

C_{TP}^{YT} – стоимость транспортировки изделия от места эксплуатации до места утилизации;

$D(t_{YT})$ – коэффициент дисконтирования для года t_{YT} ;

Выполнив все перечисленные выше вычисления и подставив их результаты в формулу (2.5.1) получим величину $C_{ЖЦ}(t_k)$, зная которую можно найти среднегодовые затраты:

$$C_{ЖЦ}^{CP} = \frac{C_{ЖЦ}(t_k)}{t_k} \quad (3.38)$$

и удельные затраты на один час налёта:

$$C_{ЖЦ}^{ч.н.} = \frac{C_{ЖЦ}(t_k)}{t_{Пн} \sum L_{\text{ГОД}}(t_k)t} \quad (3.39)$$

где $T_{пн}$ – планируемый годовой налёт (или фактический).

Представленная методика расчёта образует математическую модель СЖЦ

первого приближения. Основная проблема расчёта СЖЦ состоит в получении достоверных исходных данных. Стоит понимать, что СЖЦ может колебаться от первоначально заложенной цены на расходные материалы, ГСМ, зарплату персонала и пр. т.к. эти значения могут колебаться в зависимости от региона, где планируется использовать ВС.

3.3.2. Расчет стоимости жизненного цикла вертолётa Ми-171А2 при существующей и предлагаемой стратегии технической эксплуатации

Сравнительный расчет СЖЦ проводится для двух моделей ТЭ – существующей и предлагаемой по методике, изложенной в разделе 3.3.1. Расчет производится для вертолётов типа Ми-171А2.

Исходные данные для расчета СЖЦ при существующей модели ТЭ:

- стратегия эксплуатации вертолётa - по ресурсу;
- срок службы вертолётa 25 лет, ресурс до списания 18000 часов налёта;
- годовой расход ресурса (годовой налёт) 500 часов;
- межремонтный срок службы 3000 часов;
- средняя продолжительность одного полётa 1 час;
- количество полётов в день – 2 полётa;
- численность экипажа 2 человека;
- средняя стоимость нормочаса для оперативных видов подготовки 47 у.е.;
- средняя стоимость нормочаса для периодических видов подготовки (регламентных работ) 50 у.е.;
- средняя стоимость нормочаса для капитально-восстановительного ремонта 60 у.е.;
- вертолёт эксплуатируется и проходит ТО в одном регионе на одной АТБ, при использовании одного комплекта КПА и СНО;
- выработка ресурса по годам ЖЦ расходуется равномерно;
- срок службы и ресурс средств эксплуатации, обслуживания и ремонта соответствует ресурсу и сроку службы вертолётa и замена перечисленных ОЗС в процессе эксплуатации не предусматривается;

- наработка на отказ и повреждение (T_c), выявленные в полёте и при всех формах ТО, принимается что она не хуже чем у базовой модели – вертолёт Ми-171А и равна $T_c=45$ ч;
- расход ГСМ выбран по результатам анализа ОУЭ и соответствует значениям номограмм РЛЭ [12];
- утверждённые нормы расхода ЗЧ и расходных материалов на 100 часов налёта [11];
- периодичность технического обслуживания и трудоёмкость согласно ИПТО и технологическим картам РЭ [12];
- трудоёмкости соответствующих видов ТО;
- цена вертолёта – 8,5 млн \$;
- цена ОСЗ – 6 млн \$.

Расчитаем коэффициент дисконтирования и инфляции приведенные к расчетному году по формулам 3.6 и 3.12, значения сведем в таблицу 3.6.

По данным [91] принимаем инфляцию 4,59 %.

Таблица 3.6 - Коэффициент дисконтирования и инфляции

Параметр	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$D(t_k)$	4,3	7,7	10,4	12,5	14,1
$I(t_k)$	1,23	1,46	1,69	1,92	2,15

Стоимость вертолётa, приведённая к расчётному году рассчитывается по формуле 3.7, при этом принимаем $E=0,05$. Расчеты сведем в таблицу 3.7 и построим график (рис. 3.2).

Таблица 3.7 - Стоимость вертолётa

Параметр	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{\text{верт}}(t_k)$	7360110	6563475	5881806	5296439	4791941

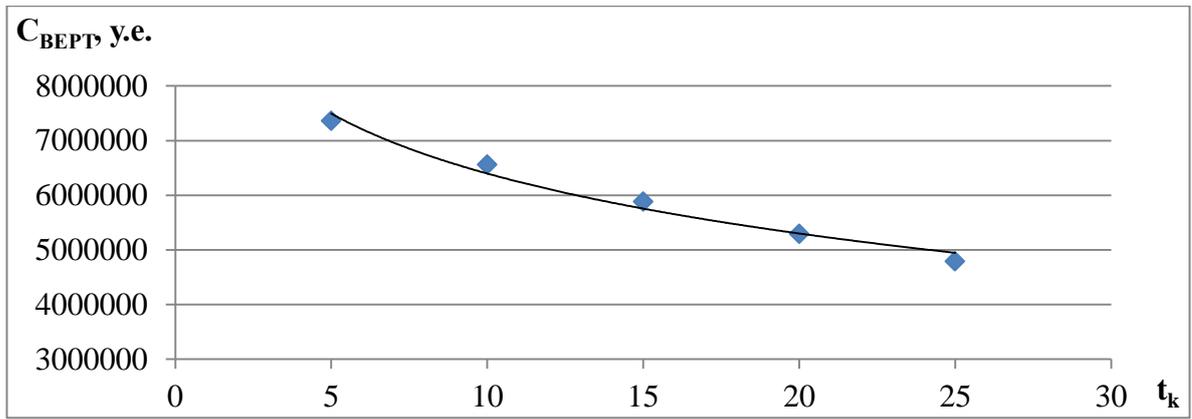


Рис. 3.2 – Стоимость вертолёта, приведенная к расчетному году

В расчетах принимаем, что покупка ОЗС осуществляется один раз. Стоимость средств эксплуатации, обслуживания и ремонта (СНО, здания, сооружения, коммуникации), приведенные к одному изделию и к расчетному году, стоимость их эксплуатации сведены в таблицу 3.8, стоимостный график (рис. 3.3).

Таблица 3.8 – Стоимость ОСЗ

Параметр	Номер формулы	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{\text{ПОЗС}}(t_i)$	3.9	5160000	4620000	4160000	3750000	3384000
$C^{\text{год}}_{\text{эозс}_j}$	3.11	63442,2	67405,8	70241,6	71925	72671,4
$C_{\text{эозс}}(t_k)$	3.10	54560,29	51902,47	48700,84	44953,13	40986,67
$C_{\text{озс}}(t_k)$	3.8	5214560	4671902	4208701	3794953	3424987

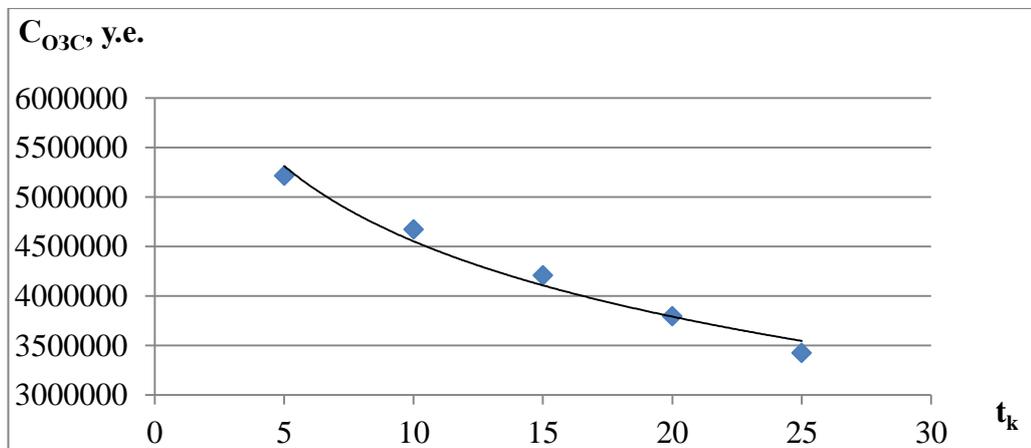


Рис. 3.3 – Стоимость средств эксплуатации

Затраты на средства обучения и тренировки персонала.

Как правило, переучивание (обучение) лётного и инженерно-технического состава происходит на предприятиях - поставщиках основного изделия. Стоимость обучения, включая тренировки лётного состава, зависит от количества обучаемых, их профессиональной подготовки. Затраты определяются калькуляцией прямых расходов, и не превышает величины 0,02...0,05 первоначальной стоимости вертолётa и включаются в общую сумму контракта.

$$C_{\text{ПУТС}}(t_i) = 0,02 \dots 0,05 C_{\text{ВЕРТ}}(t_i);$$

В расчете примем, что первоначальная величина

$$C_{\text{ПУТС}}(t_i) = 0,035 C_{\text{ВЕРТ}}(t_i)$$

$$C_{\text{ПУТС}}(t_i) = 0,035 \times 8\,500\,000 = 297\,500 \text{ у.е.}$$

В процессе дальнейшей эксплуатации затраты на содержание стендов и плакатов не значительные и ими в процессе эксплуатации вертолётa можно пренебречь.

Затраты на содержание экипажа.

Учитывая ежемесячный уровень зарплат пилотов вертолётa [93], для простоты расчёта примем средние годовые затраты на одного члена экипажа в год равной 25 000 у.е.. Затраты на содержание экипажа с учётом коэффициента инфляции рассчитаем по формуле 3.16 и построим график (рис. 3.4).

Таблица 3.9 - Затраты на содержание экипажа

Параметр	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{\text{ЭК}}(t_k)$	307375	729500	1266375	1918000	2684375

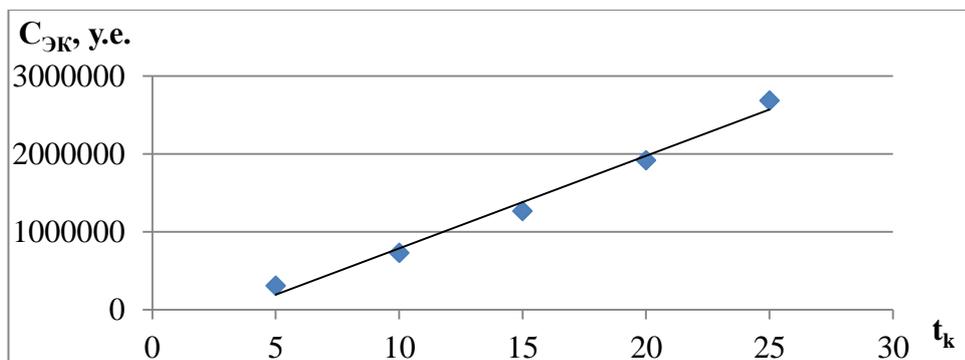


Рис. 3.4 – Затраты на содержание экипажа

Затраты на ГСМ.

С учетом среднерыночных цен на топливо [47, 93] в расчете примем цену за 1 кг топлива марки ТС-1 $C_{ТС}(t_k) = 0,5$ у.е..

Согласно [82] часовой расход топлива кг/ч в воздухе $g_T^B = 610$ и на земле равен $g_T^3 = 360$. Коэффициент, учитывающий нецелевое использование топлива (слив отстоя и т.п.) $\xi=0,05$.

Затраты на топливо определяются по формулам 3.21-3.24. Произведем расчет, сведем результаты в таблицу 3.10 и построим график (рис. 3.5).

Таблица 3.10 – Затраты на топливо

Параметр	Номер формулы	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{ТС}^B(t_k)$	3.22	3278750	11742500	23790000	38125000	53756250
$C_{ТС}^3(t_k)$	3.23	387000	1386000	2808000	4500000	6345000
$C_{ТС}(t_k)$	3.21	3665750	13128500	26598000	42625000	60101250

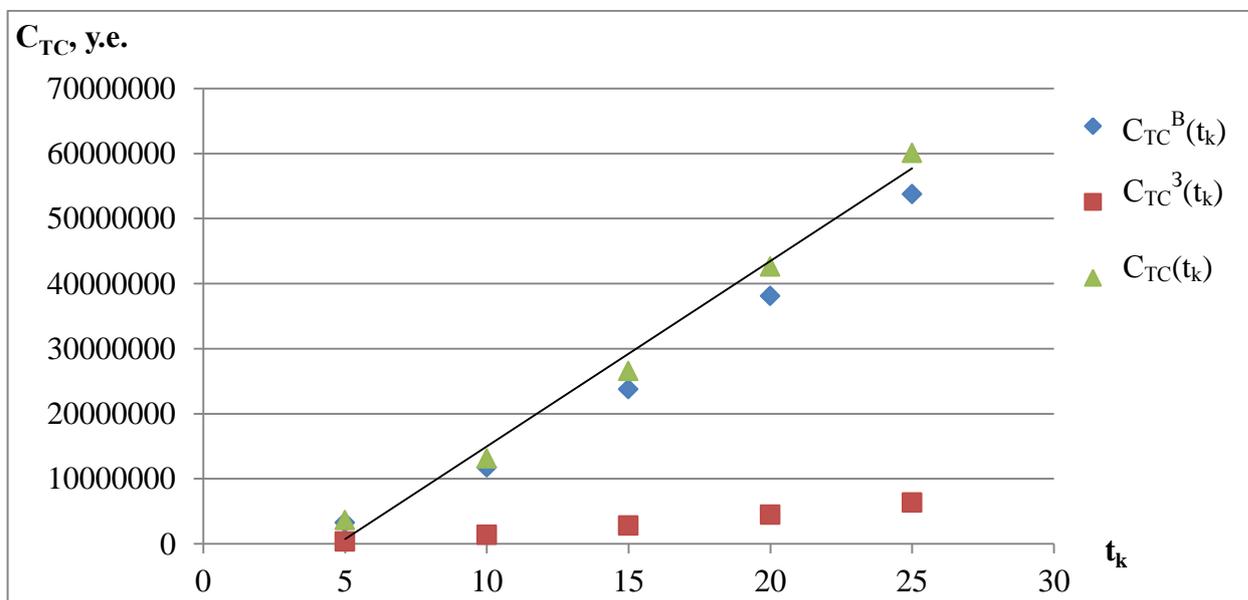


Рис. 3.5 – Затраты на топливо

Затраты на масло и смазочные материалы.

С учетом среднерыночных цен [1] на авиационные масла, в расчете примем цену за 1 кг масла марки Б-3В $C_M(t_k) = 17$ у.е..

Согласно норм расхода [11] часовой расход масла Б-3В для двигателя ВК-2500-ПС03 $g_M^{ДВ} = 0,4$ кг/ч, для главного редуктора ВР-14 $g_M^{ГР} = 0,1$ кг/ч.

Для рассматриваемого примера величина на 100 часов налёта

$$\sum_{i=1}^n (Q_{cm} \times \Pi_{cm}) = 1200 \text{ у.е.}$$

Произведем расчет, сведем результаты в таблицу 3.11 и построим график (рис. 3.6).

Таблица 3.11 - Затраты на масло и смазочные материалы

Параметр	Номер формулы	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{CM}(t_k)$	3.26	25800	92400	187200	300000	423000
$C_M(t_k)$	3.28	91375	327250	663000	1062500	1498125

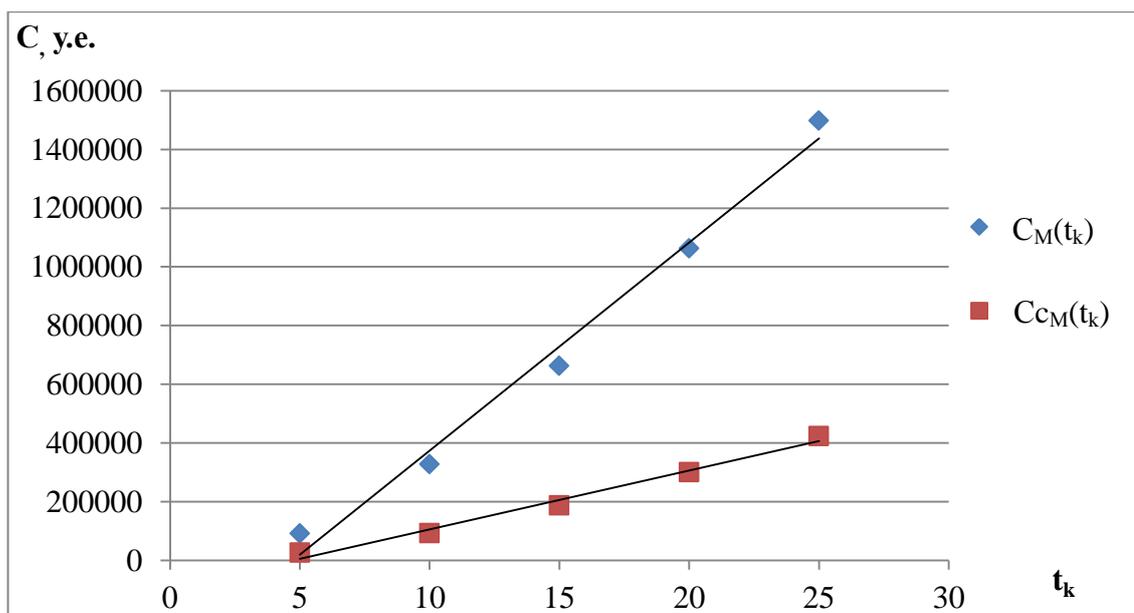


Рис. 3.6 – Затраты на масло и смазочные материалы

Затраты на ГСМ в целом рассчитываются по формуле 3.18. Произведем расчет, сведем результаты в таблицу 3.12 и построим график (рис. 3.7).

Таблица 3.12 - Затраты на ГСМ

Параметр	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{ГСМ}(t_k)$	3782925	13548150	27448200	43987500	62022375

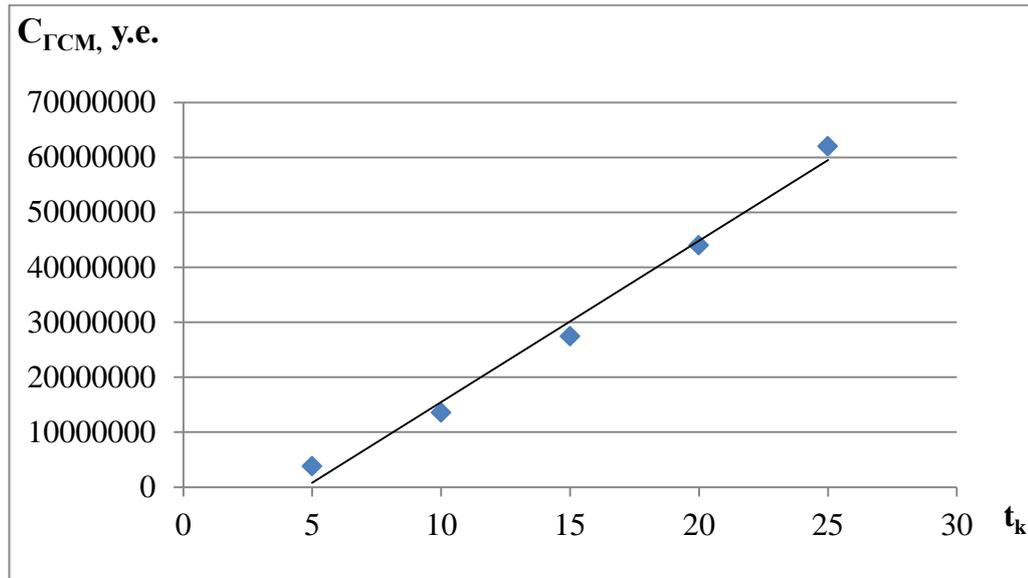


Рис. 3.7 – Затраты на ГСМ

Затраты на расходные материалы.

Исходные данные для расчёта берутся из перечня «Нормы расхода материалов на 100 часов налёта» [11] и цена с учётом дисконта. По опыту эксплуатации в межремонтный период, этот перечень используется на 25...37%, а остальные 75...63% используются в процессе выполнения капитального ремонта и входят в цену ремонта. В расчетах принимаем коэффициент использования расходных материалов 0,31 и 0,69 соответственно.

Ценарасходных материалов на 100 часов налёта в составляет $C_{PM}^{100} = 17$ у.е.. При годовом налёте вертолёта $T_{ГОД} = 500$ час, стоимость расходных материалов составит $C_{PM}^{ГОД} = 8500$ у.е.

Произведем расчет по формуле 3.20, сведем результаты в таблицу 3.13 и построим график (рис. 3.8).

Таблица 3.13 - Затраты на расходные материалы

Параметр	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{PM}(t_k)$	11330,5	20289,5	27404	32937,5	37153,5

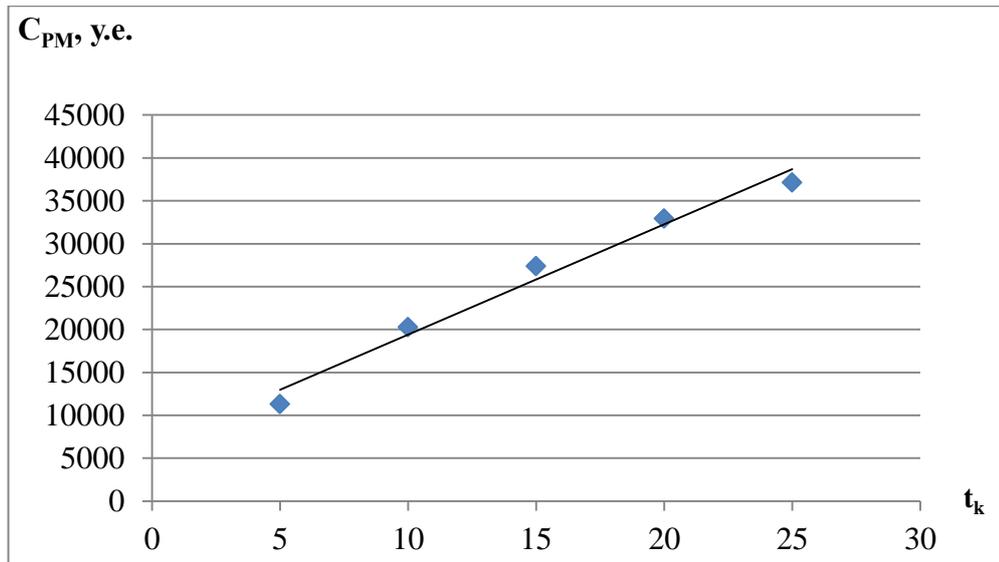


Рис. 3.8– Затраты на расходные материалы

Затраты на расходные материалы и ГСМ в целом рассчитываются по формуле 3.17. Произведем расчет, сведем результаты в таблицу 3.14 и построим график (рис. 3.9).

Таблица 3.14 - Затраты на расходные материалы и ГСМ

Параметр	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{\text{ГРМ}}(t_k)$	3794256	13568440	27475604	44020438	62059529

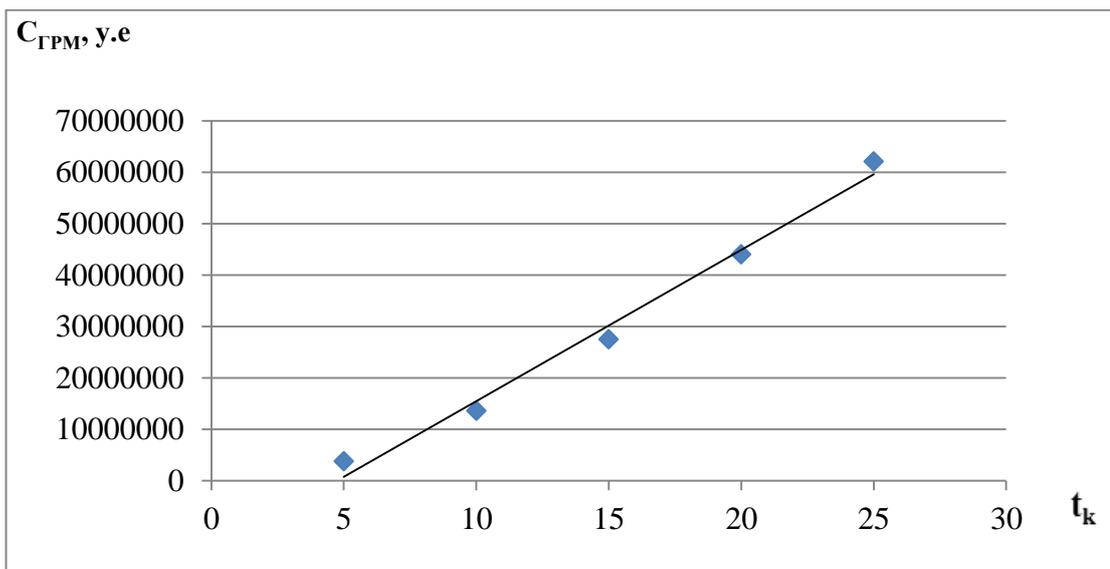


Рис. 3.9 - Затраты на расходные материалы и ГСМ

Затраты на ТОиР.

Расчитаем трудоемкость оперативных и регламентных работ (таблица 3.14, 3.15).

$$\sum \tau_1(PP_i) = \tau(PP_i) \times N_1(PP_i),$$

где $N_1(PP_i)$ - количество обслуживаний i -ой формы регламентной работы за период l ;

$\tau(PP_i)$ – трудоемкость выполнения i -ой формы регламентной работы;

$\sum \tau_1(PP_i)$ – суммарная трудоемкость обслуживания i -ой формы регламентной работы за период l .

l – рассматриваемый период (межремонтный цикл $l=3000$ ч).

Таблица 3.14 – Трудоемкость регламентных форм обслуживания

Форма обслуживания	$\tau(PP_i)$, чел-ч	$N_1(PP_i)$	$\sum \tau(PP_i)$, чел-ч
75-часовое обслуживание	48,27	40	1930,8
150-часовое обслуживание	111,22	20	2224,4
300-часовое обслуживание	207,23	10	2072,3
600-часовое обслуживание	215,0	4	860
10% — трудоемкость контроля	-	-	708,75
ИТОГО			7796,25

$$\sum \tau_1(OO_i) = (\tau(OO_i) \times N_1(OO_i)),$$

где $N_1(OO_i)$ - количество обслуживаний i -ой формы оперативных работ за период l ;

$\tau(OO_i)$ – трудоемкость выполнения i -ой формы регламентной работы;

$\sum \tau_1(OO_i)$ – суммарная трудоемкость обслуживания i -ой формы регламентной работы за период l ;

l – рассматриваемый период (межремонтный цикл $l=3000$ ч, типовой день $l=2$ час).

$$N_{3000}(OO_i) = (N_2(OO_i) \times T_{\text{Год}}) \times \frac{l_{3000}}{T_{\text{Год}}}$$

$$N_{3000}(OO_{A2}) = \sum N_1(PP_i)$$

Таблица 3.15 - Трудоемкость оперативных форм обслуживания

Форма обслуживания	$\tau(\text{ОО}_i)$ чел-ч	$N_i(\text{ОО}_i)$		$\Sigma\tau(\text{ОО}_i)$, чел-ч
		типовой день	межремонтный цикл	
Работы по встрече (BC)	0,414	2	6000	2484
Работы по обеспечению стоянки (OC)	0,712	1	3000	2136
Работы по обеспечению вылета (OB)	2,127	1	3000	6381
Работы по обеспечению первого вылета (OB_1)	3,1	1	3000	9300
Форма A_1	1,86	2	6000	11160
Форма A_2	5,7	-	74	421,8
10% - трудоемкость контроля				3188,28
ИТОГО				35071,08

Проанализируем удельные трудовые затраты на 1 час налета на выполнение оперативных $\tau_{1\text{час}}(\text{ОО})$ и регламентных работ $\tau_{1\text{час}}(\text{PP})$.

$$\tau_{1\text{час}}(\text{ОО}) = \frac{\Sigma\tau(\text{ОО})}{l}$$

$$\tau_{1\text{час}}(\text{ОО}) = \frac{35071,08}{3000} = 11,69 \text{ (чел - ч)}$$

$$\tau_{1\text{час}}(\text{PP}) = \frac{\Sigma\tau(\text{PP})}{l}$$

$$\tau_{1\text{час}}(\text{PP}) = \frac{7796,25}{3000} = 2,6 \text{ (чел - ч)}$$

В расчете на один летный час суммарные удельные трудовые затраты на техническое обслуживание вертолёта составляют:

$$\tau_{1\text{час}} = \frac{\Sigma\tau(\text{ОО}) + \Sigma\tau(\text{PP})}{l}$$

$$\tau_{1\text{час}} = \frac{35071,08 + 7796,25}{3000} = 14,29 \text{ (чел - ч)}$$

или округленно 14,3 чел. час/час налета.

В расчете стоимости ТОиР не учитывается стоимость расходных материалов и ГСМ, запасных частей и КПА т.к. эти показатели рассчитываются отдельно.

Затраты на оперативное обслуживание $C_{OO}(t_k)$ вычисляются с использованием данных таблицы 3.15.

По формулам 3.30-3.33 определим затраты на ТО, сведем результаты в таблицу 3.16 и построим графики (рис. 3.10 и 3.11).

Из опыта эксплуатации затраты на плановое ТО значительно выше, чем на внеплановое $C_{ПЛ}(t_k) \gg C_{ВН}(t_k)$. Обычно показатель колеблется в пределах $C_{ВН}(t_k) = 0,01 \dots 0,05 C_{ПЛ}(t_k)$. В расчётах примем коэффициент $C_{ВН}(t_k) = 0,035 C_{ПЛ}(t_k)$.

Таблица 3.16 - Затраты на ТОиР

Параметр	Номер формулы	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{OO}(t_k)$	3.32	1689497	4010839	6964025	10549056	14765931
$C_{PP}(t_k)$	3.33	399750	949000	1647750	2496000	3493750
$C_{ПЛ}(t_k)$	3.31	2089247	4959839	8611775	13045056	18259681
$C_{ВН}(t_k)$	-	73123,65	173594,4	301412,1	456576,96	639088,84
$C_{ТОиР}(t_k)$	3.30	2162371	5133433	8913187	13501633	18898770

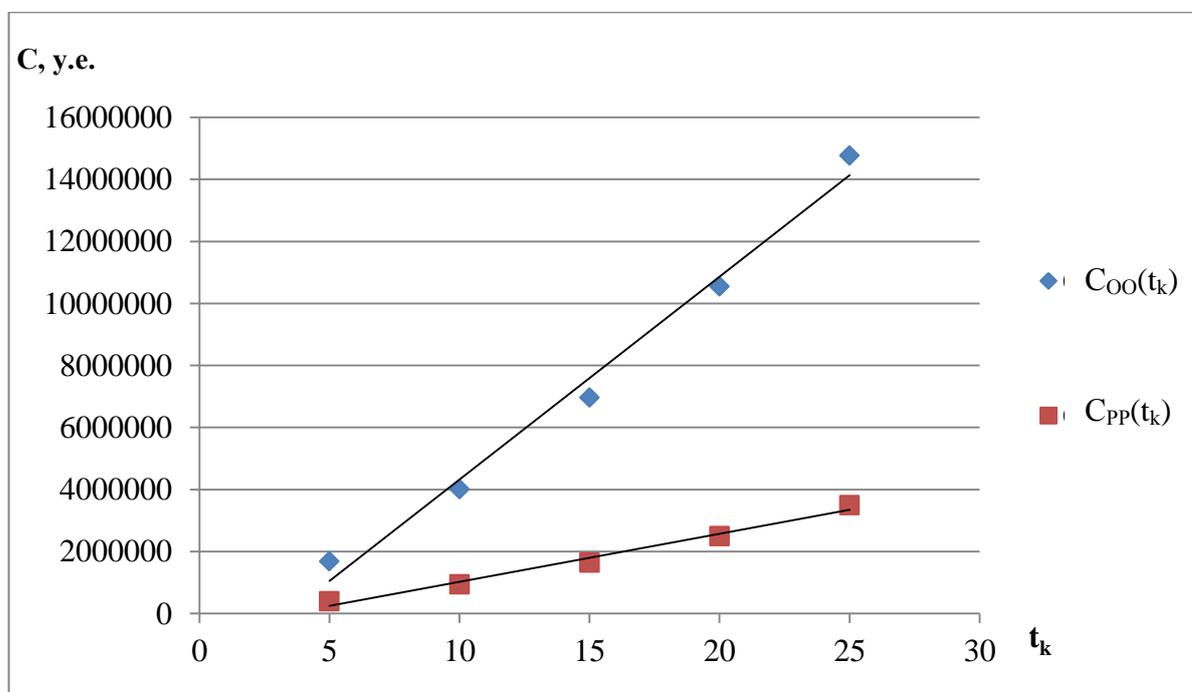


Рис. 3.10 – Сравнение затрат на оперативные и регламентные работы

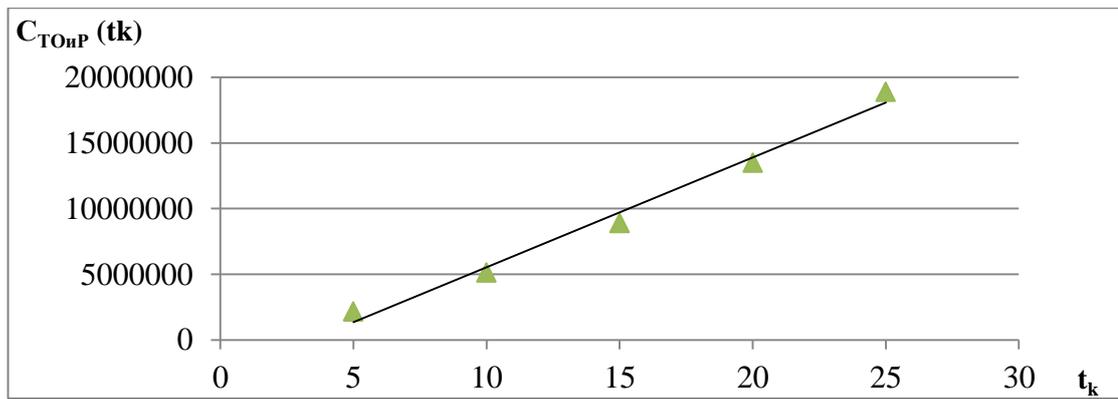


Рис. 3.11 – Затраты на ТОиР

Затраты на капитальный ремонт.

В расчетах стоимости транспортировки $C_{ТР}^{кр}$ от места эксплуатации до места ремонта (в один конец) принимаем, что вертолёт на АРЗ и обратно летит «своим» ходом. Затраты на транспортировку сопоставимы со стоимостью лётного часа поэтому в ими можно пренебречь.

По формулам 3.36 и 3.20 определим затраты на КР, сведем результаты в таблицу 3.17 и построим график (рис. 3.12).

Таблица 3.17 - Затраты на капитальный ремонт

Параметр	Номер формулы	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
Год ремонта		-	6 год	12 год	18 год	24 год
$C_{КРj}(t_j)$	3.36	0	2366488	3121120	3684237	3764700
$C_{PM}(t_j)$	3.20	0	51982,97	68559,43	80929,03	82696,5
$C_{КР}(t_j)$	3.36	0	2418471,2	3189679,1	3765166,4	3847396,5

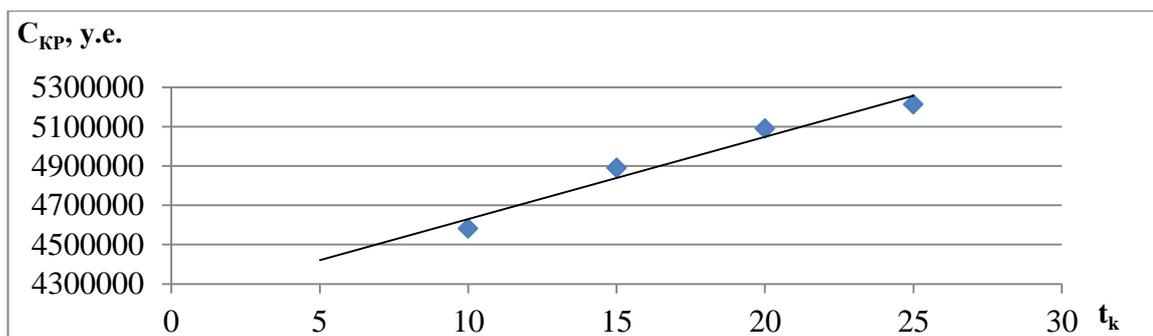


Рис. 3.12 – Затраты на капитальный ремонт

В расчетах стоимости утилизации стоимость транспортировки изделия от места эксплуатации до места утилизации не рассматривается т.к. по опыту эксплуатации ВС утилизируется на месте постоянного базирования.

При оценке затрат на утилизацию авиационной техники необходимо иметь ввиду, что остаточная стоимость (цветной металл) больше чем цена утилизации $C_{ост} > C_{ут}$. Таким образом величиной $C_{ут}(t_k)$ в расчетах можно пренебречь.

Стоимость жизненного цикла вертолёта.

Сведем слагаемые СЖЦ в таблицу 3.18, по формуле 3.1 произведем расчет СЖЦ для существующей модели эксплуатации и построим график (рис. 3.13).

Таблица 3.18 - СЖЦ вертолёта для существующей модели СТЭ

Коэф.	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{ВТ}(t_k)$	7360110,34	6563474,69	5881806,222	5296439,396	4791941,152
$C_{ЭОЗС_j}^{год}$	5214560,292	4671902,466	4208700,843	3794953,125	3424986,67
$C_{ЭК}(t_k)$	307375	729500	1266375	1918000	2684375
$C_{ГРМ}(t_k)$	3794255,5	13568439,5	27475604	44020437,5	62059528,5
$C_{ТОиР}(t_k)$	2162370,904	5133433,365	8913187,384	13501632,96	18898770,09
$C_{КР}(t_k)$	0	2418471,158	3189679,1	3765166,4	3847396,5
$C_{ЖЦ}(t_k)$	18838672,04	33085221,18	50935353	72296629	95706997,9

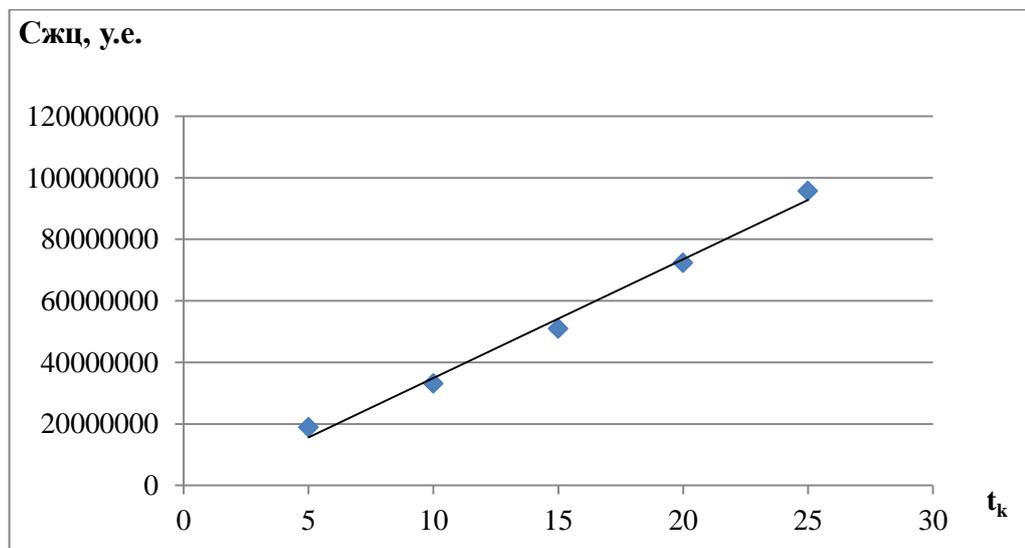


Рис. 3.13 – СЖЦ вертолёта для существующей модели СТЭ

Анализ произведенных расчетов показывает, что величина первоначальной стоимости вертолёта в общем случае не является определяющим фактором эффективности его применения.

Непрерывный рост расходов на ГСМ, эксплуатационные расходы, затраты на капитальный ремонт, рост стоимости запасных частей - всё это уменьшает конкурентную привлекательность вертолёта.

Проанализируем процентное соотношение вложения составляющих СЖЦ от результирующей СЖЦ, построим график (рис. 3.14).

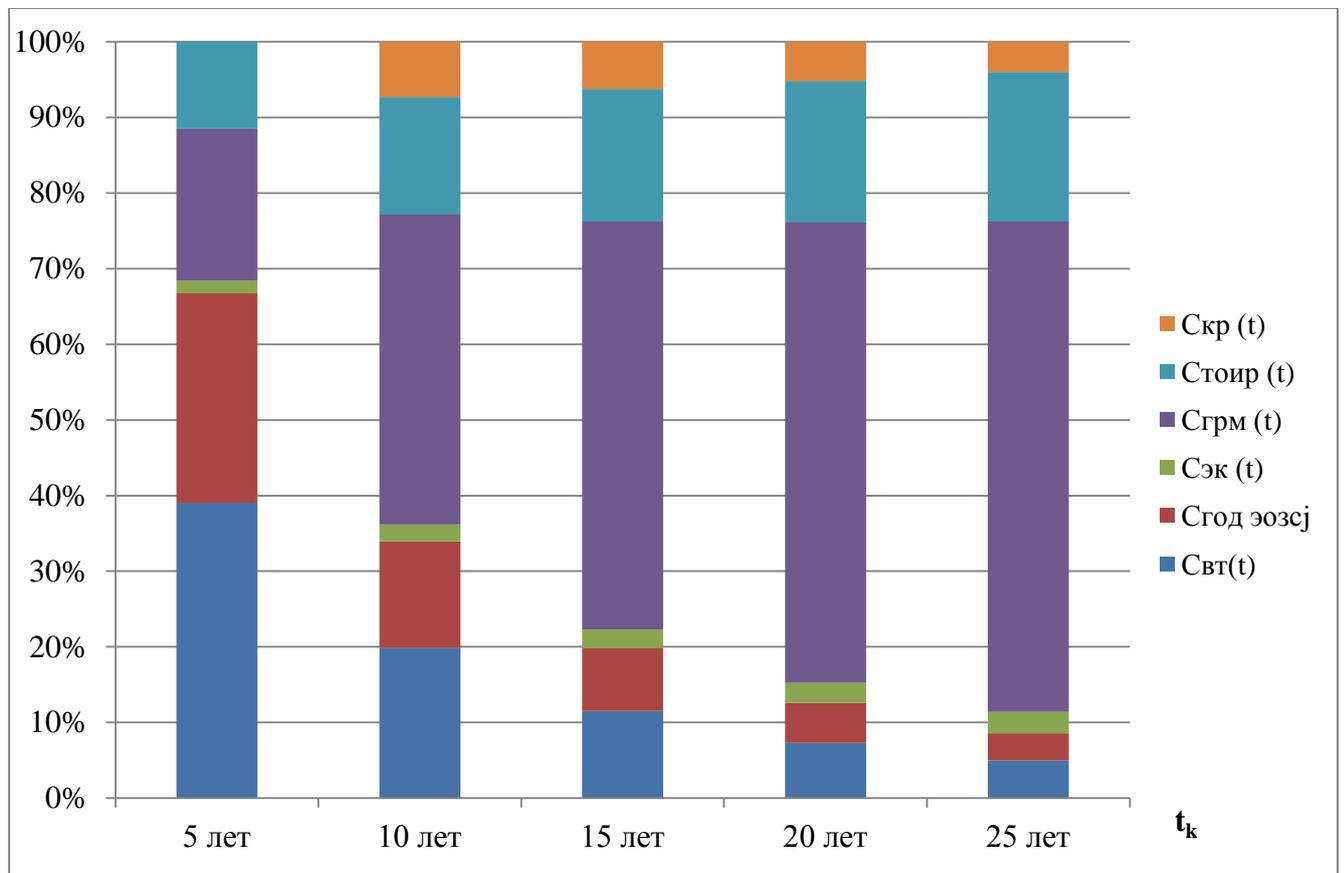


Рис. 3.14 – Доля затрат составляющих СЖЦ при существующей СТЭ

Анализ затрат составляющих СЖЦ показывает, что стоимость вертолёта является весомой частью, только в первые годы эксплуатации. В последующие года основные статьи затрат приходятся на расходные материалы и ГСМ (41-64%) и проведение ТОиР (15-20%). На капитальные ремонты приходится 4-7% от СЖЦ.

Расчет СЖЦ для предлагаемой СТЭ.

Исходные данные для расчета СЖЦ.

В расчёте СЖЦ вертолѐта по предлагаемой СТЭ следующие значения принимаем такими же, как и при существующей системе ТЭ:

1. Стоимость вертолѐта, приведѐнная к расчѐтному году.
2. Стоимость средств эксплуатации, обслуживания и ремонта.
3. Затраты на средства обучения и тренировки персонала.
4. Затраты на содержание экипажа.
5. Средняя стоимость нормочаса.
6. Затраты на расходные материалы и ГСМ.
7. Затраты на утилизацию.

Предлагаемая методика СТЭ, описаная в разделе 2.3, влияет на трудоемкость ТОиР и влечет отмену КР в пользу КВР. Поэтому произведем расчет трудоемкости ТОиР (таблица 3.19 и 3.20) и рассчитаем СЖЦ.

Проанализируем удельные трудовые затраты на 1 час налета на выполнение оперативных $\tau_{1\text{час}}(\text{ОО})$ и регламентных работ $\tau_{1\text{час}}(\text{РР})$:

$$\tau_{1\text{час}}(\text{ОО}) = \frac{\sum\tau(\text{ОО})}{l}$$

$$\tau_{1\text{час}}(\text{ОО}) = \frac{29458}{3000} = 9,82 \text{ (чел - ч)}$$

$$\tau_{1\text{час}}(\text{РР}) = \frac{\sum\tau(\text{РР})}{l}$$

$$\tau_{1\text{час}}(\text{РР}) = \frac{5407,6}{3000} = 1,8 \text{ (чел - ч)}$$

В расчете на один летный час суммарные удельные трудовые затраты на техническое обслуживание вертолѐта составляют:

$$\tau_{1\text{час}} = \frac{\sum\tau(\text{ОО}) + \sum\tau(\text{РР})}{l}$$

$$\tau_{1\text{час}} = \frac{35071,08 + 7796,25}{3000} = 11,62 \text{ (чел - ч)}$$

или округленно 11,6 чел-ч/час нал.

Для предлагаемой СТЭ в расчѐтах примем коэффициент $C_{\text{ВН}}(t_k) = 05 C_{\text{ПЛ}}(t_k)$.

Таблица 3.19 - Трудоемкость регламентных форм обслуживания

Форма обслуживания	$\tau(PP_i)$, чел-ч	$N_i(PP_i)$	$\Sigma\tau(PP_i)$, чел-ч
150-часовое обслуживание	103,7	20	2074
300-часовое обслуживание	187,2	10	1872
600-часовое обслуживание	242,5	4	970
10% — трудоемкость контроля			491,6
ИТОГО			5407,6

Таблица 3.20 – Трудоемкость оперативных форм обслуживания

Форма обслуживания	$\tau(OO_i)$ чел-ч	$N_i(OO_i)$		$\Sigma\tau(OO_i)$, чел-ч
		типовой день	межремонтный цикл	
Предполётная подготовка	3,3	1	3000	9900
Подготовка к повторному вылету	2,4	1	3000	7200
Послеполётная подготовка	2,8	1	3000	8400
Периодический осмотр 75 часов	32	-	40	1280
10% - трудоемкость контроля				2678
ИТОГО				29458

По формулам 3.30-3.33 определим затраты на ТО, сведем результаты в таблицу 3.21 и построим график (рис. 3.15).

Таблица 3.21 - Затраты на ТОиР

Параметр	Номер формулы	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{OO}(t_k)$	3.32	1419236	3369242	5850019,5	8861568	12403888
$C_{PP}(t_k)$	3.33	276750	657000	1140750	1728000	2418750
$C_{ПЛ}(t_k)$	3.31	1695986	4026242	6990769,5	10589568	14822638
$C_{ВН}(t_k)$	-	84799,28	201312,1	349538,48	529478,4	741131,9
$C_{ТОиР}(t_k)$	3.30	1780785	4227554	7340308	11119046	15563769

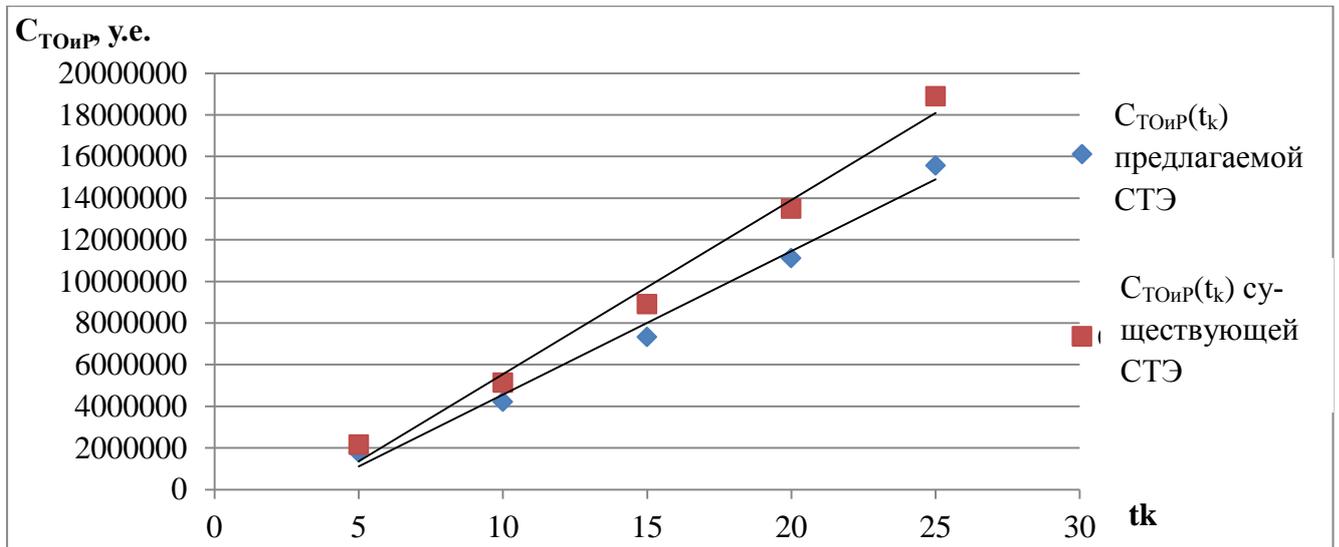


Рис. 3.15 – Сравнение затрат на ТОиР при существующей и предлагаемой СТЭ

Расчет затрат на проведение КВР проводится аналогично расчету затрат на КР по формулам 3.36 и 3.20. Произведем расчет, сведем результаты в таблицу 3.22 и построим графики 3.16.

Таблица 3.22 - Затраты на КВР

Параметр	Номер формулы	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
Год ремонта	-	-	6 год	12 год	18 год	24 год
$C_{КРj}(t_j)$	3.36	0	1994232	2630157	3104694	3172500
$C_{PM}(t_j)$	3.20	0	51982,97	68559,43	80929,03	82696,5
$C_{КР}(t_j)$	3.36	0	2046215	2698716	3185623	3255197

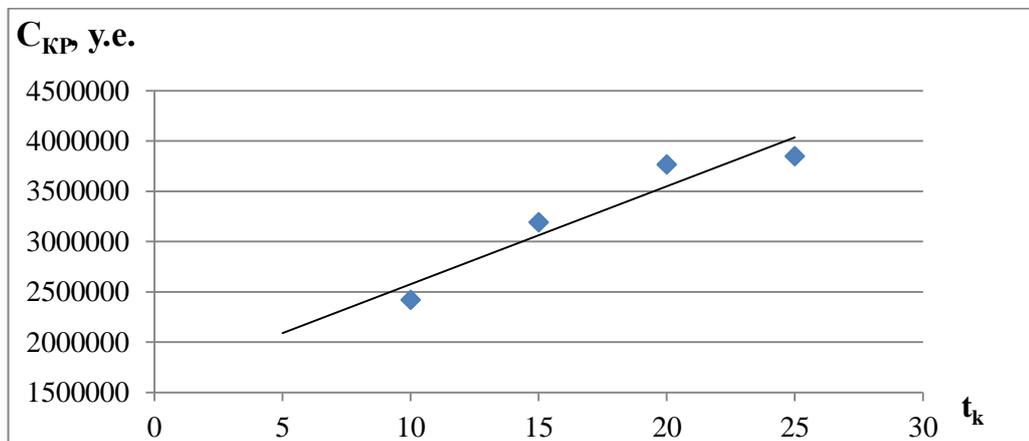


Рис. 3.16 – Затраты на контрольно-восстановительные работы

Сведем слагаемые СЖЦ в таблицу 3.23 и произведем расчет СЖЦ для предлагаемой модели эксплуатации по формуле 3.1 и построим график (рис. 3.17).

Таблица 3.23 - СЖЦ вертолёта для предлагаемой модели СТЭ

Коэф.	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{BT}(t_k)$	7360110	6563475	5881806	5296439	4791941
$C_{ЭОЗСj}^{год}$	5214560	4671902	4208701	3794953	3424986
$C_{ЭК}(t_k)$	307375	729500	1266375	1918000	2684375
$C_{ГРМ}(t_k)$	3794256	13568440	27475604	44020438	62059529
$C_{ТОиР}(t_k)$	1780784,775	4227554,1	7340307,975	11119046,4	15563769,38
$C_{КВР}(t_k)$	0	2046215	2698716	3185623	3255197
$C_{ЖЦ}(t_k)$	18457085,9	31807085,3	48871511	69334500	91779797

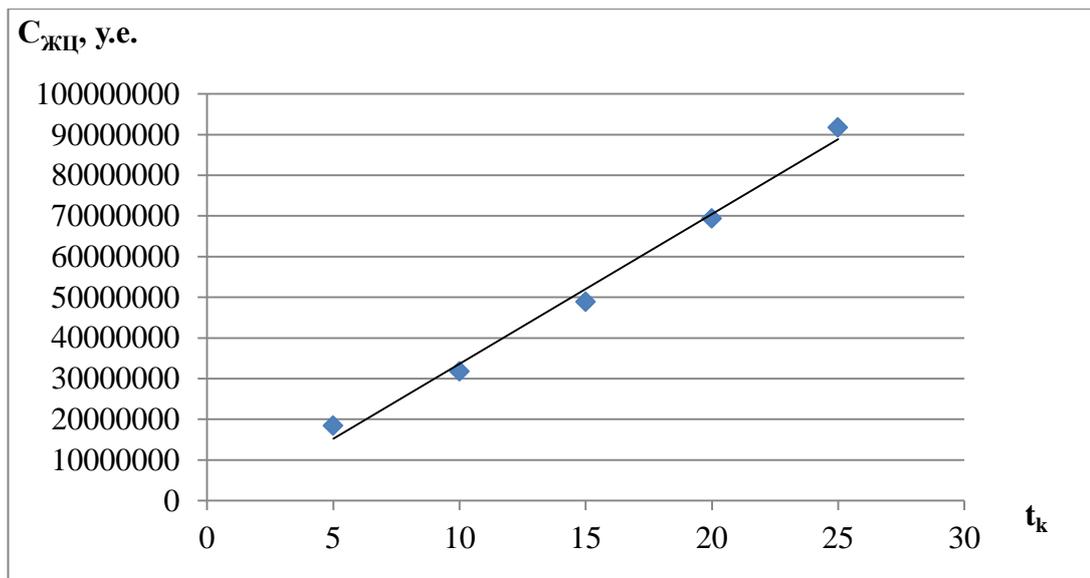


Рис. 3.17 – СЖЦ вертолёта для предлагаемой модели СТЭ

Аналогично рис. 3.14 график (рис. 3.18) показывает, что стоимость вертолёта является весомой частью, только в первые годы эксплуатации. В последующие года основные статьи затрат приходятся на расходные материалы и ГСМ (42-67%) и проведение ТОиР (13-17%). На капитальные ремонты приходится 3,5-6,4% от СЖЦ.

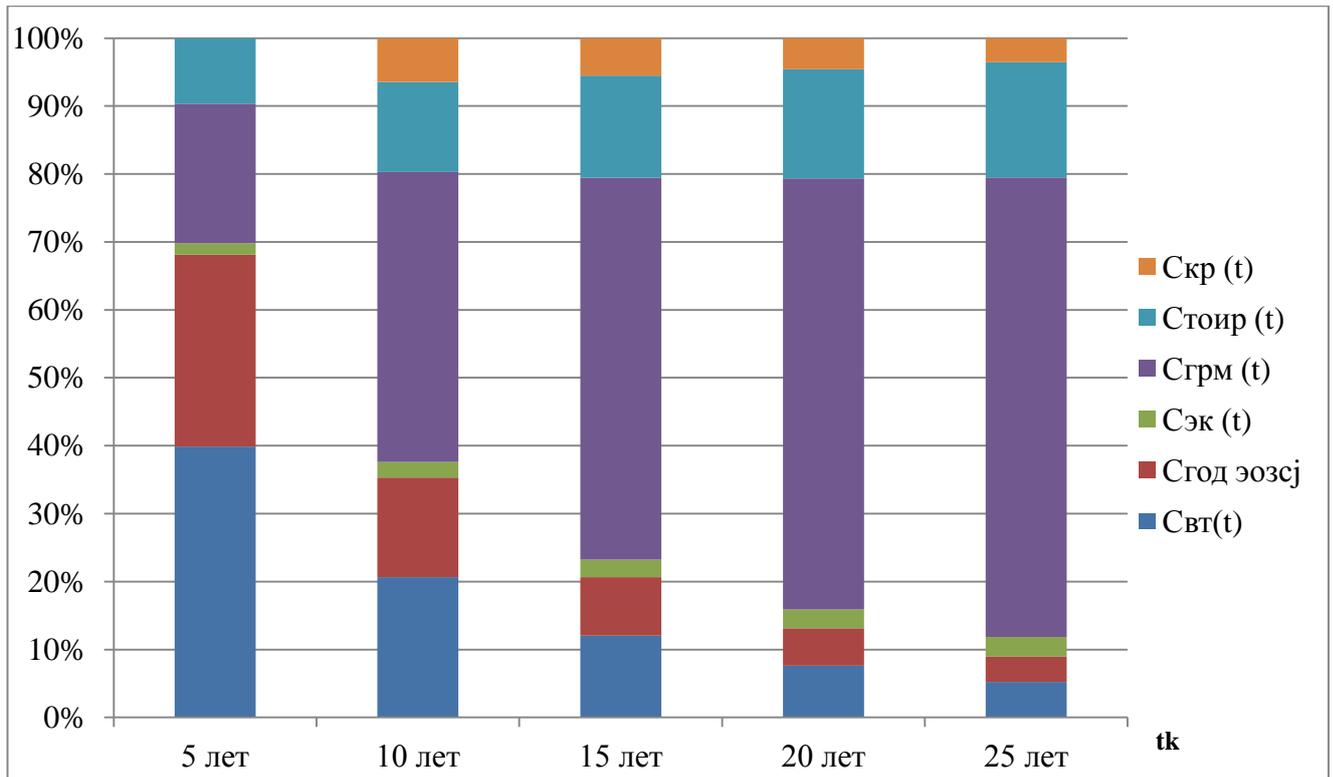


Рис. 3.18 – Доля затрат составляющих СЖЦ при предлагаемой СТЭ

3.3.3. Сравнительный анализ стоимости жизненного цикла вертолѣта Ми-171А2 при существующей и предлагаемой стратегии технической эксплуатации

Проведем сравнение результирующей СЖЦ и наиболее значительных составляющих для разных моделей СТЭ (табл. 3.24, рис. 3.19-3.21).

Таблица 3.24 - Сравнение СЖЦ для разных СТЭ

Коэф.	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
$C_{ВТ}(t_k)$	7360110	6563475	5881806	5296439	4791941
$C_{ГРМ}(t_k)$	3794256	13568440	27475604	44020438	62059529
$C_{ТОИР}^{ТЭР}(t_k)$	2162370,904	5133433,365	8913187,384	13501632,96	18898770,09
$C_{ТОИР}^{ТЭС}(t_k)$	1780784,775	4227554,1	7340307,975	11119046,4	15563769,38
$C_{КР}(t_k)$	0	2418471,158	3189679,1	3765166,4	3847396,5
$C_{КВР}(t_k)$	0	2046215	2698716	3185623	3255197
$C_{ЖЦ}^{ТЭР}(t_k)$	18838672,04	33085221,18	50935353	72296629	95706997,9
$C_{ЖЦ}^{ТЭС}(t_k)$	18457085,9	31807085,3	48871511	69334500	91779797

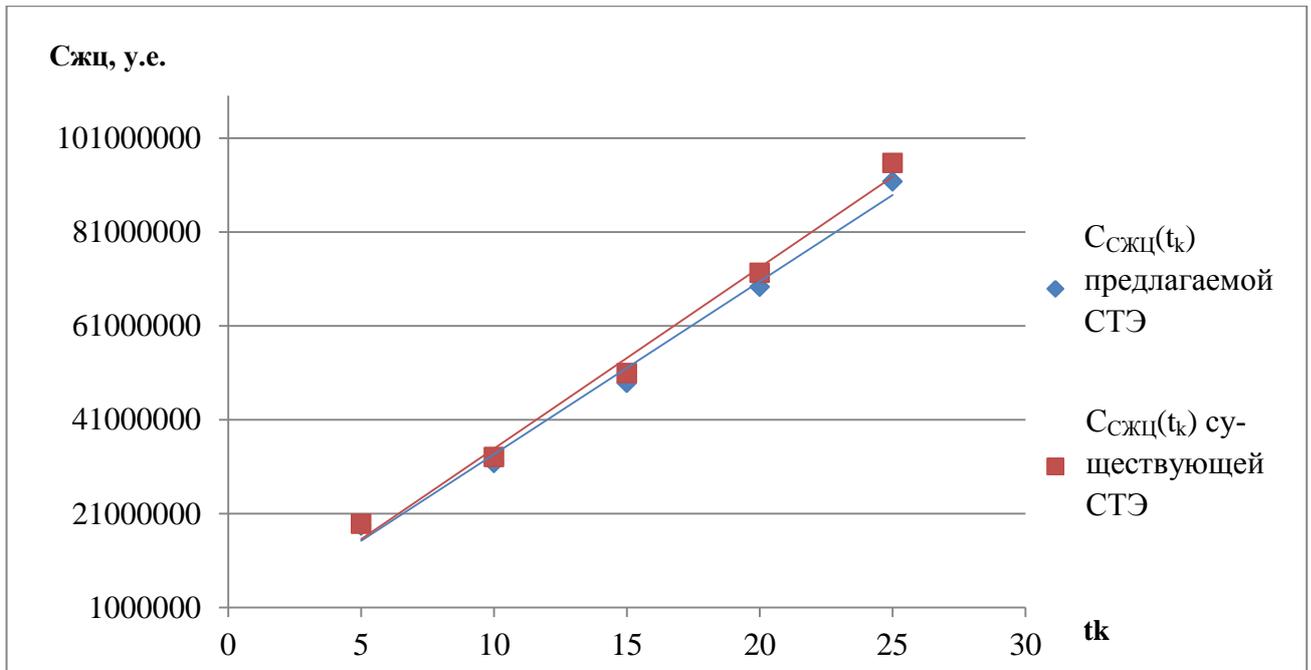


Рис. 3.19 – Сравнение СЖЦ для разных СТЭ

Анализируя график (рис. 3.19) и таблицу 3.24 видно, что при одинаковой начальной стоимости, равной стоимости вертолёта, с течением времени стратегия эксплуатации по состоянию дает преимущество относительно стратегии эксплуатации по ресурсу.

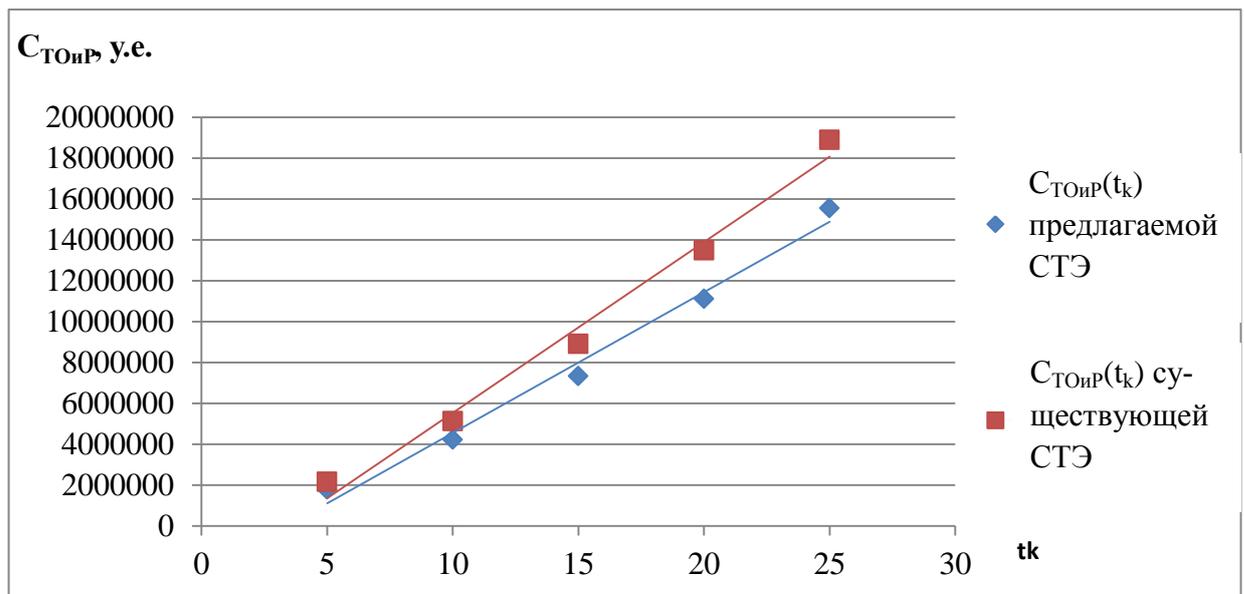


Рис. 3.20 – Сравнение затрат на ТОиР для разных СТЭ

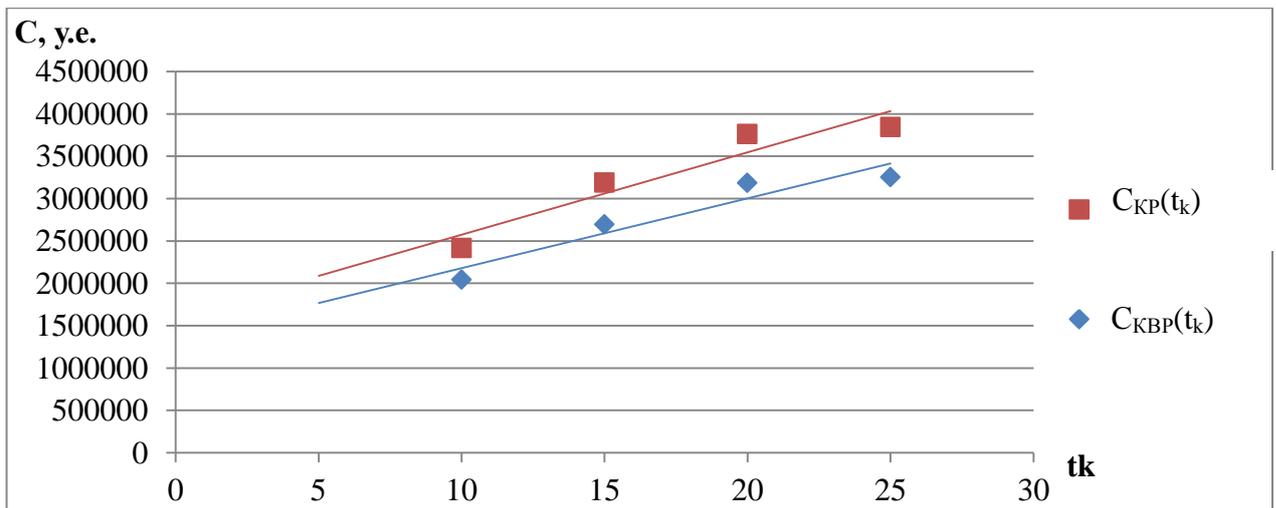


Рис. 3.21 – Стоимость затрат на КР и КВР

Внедрение предлагаемой СТЭ для вертолѐта типа Ми-171А2 позволит сократить СЖЦ на 4,1%, при этом:

- на 17 % снижена стоимость ТОиР;
- на 15 % снижены затраты на КР (за счет введения КВР).

Такое преимущество возникает за счет снижения трудоемкостей обслуживания при опереративных видах подготовки и снижения количества заменяемых агрегатов при КВР.

Выводы по главе 3

1. Анализ произведенных расчетов показывает, что величина первоначальной стоимости вертолѐта в общем случае не является определяющим фактором эффективности его применения. Результат расчета СЖЦ могут является критерием целесообразности применения той или иной стратегии ТЭ.

2. Непрерывный рост расходов на ГСМ, эксплуатационные расходы, затраты на капитальный ремонт, рост стоимости запасных частей - всё это уменьшает конкурентную привлекательность вертолѐта.

3. Создание эффективной стратегии технической эксплуатации невозможно без своевременного учета этого факта на этапе проектирования.

ГЛАВА 4. ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ВНЕДРЕНИИ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

4.1. Интегрированная логистическая поддержка и её применение при формировании оптимальных стратегий технической эксплуатации воздушного судна

Интегрированная логистическая поддержка (Integrated Logistic Support) – это совокупность видов деятельности, осуществляемой головным разработчиком изделия совместно с другими участниками ЖЦ изделия и направленная на формирование системы технической эксплуатации изделия, обеспечивающей эффективное использование изделия при приемлемой стоимости его ЖЦ [89]. Целью ИЛП является снижение затрат на послепродажных стадиях ЖЦ вертолёта.

Объектами управления системы ИЛП являются процессы создания ВС, связанные с обеспечением его надежности, ремонтпригодности, эксплуатационной технологичности, а также процессы создания системы технической эксплуатации (рис. 4.1).

Системообразующей частью ИЛП является анализ логистической поддержки, с помощью которого осуществляется взаимоувязка требований к различным видам деятельности ИЛП и оказывается влияние на проектирование ВС и его систем.

Анализ логистической поддержки (Logistic Support Analysis) – это часть ИЛП, связанная с моделированием системы технической эксплуатации изделия, расчетом ее параметров, включая планирование технического обслуживания (ремонта) и материально-техническое обеспечение, выбором и оценкой эксплуатационно-технических характеристик изделия [90].

АЛП должен начинаться на стадии определения требований к изделию (разработка аванпроекта) и продолжаться до завершения его использования (снятие с

производства). Последнее необходимо для оценки правильности результатов АЛП и накопления статистического материала, служащего основой анализа новых проектов. Процесс АЛП носит итерационный характер – на каждом последующем этапе уточняются и развиваются результаты предыдущего этапа.



Рис. 4.1 – Элементы ИЛП

Понятие ИЛП появилось около 20 лет назад и закрепилось в сфере создания технически сложной продукции российского производства. Однако, на сегодняшний день, имея теоретическое обоснование возможности существования ИЛП как технологии, нет примеров практического ее применения в полном объеме. Нет четкого представления о пути внедрения схем интегральной поддержки ЖЦ изделий.

В нынешних реалиях работа по созданию изделия, будет бесполезной, если не учитывать большого объема различной информации, которую нужно собрать и обработать.

По характеру «информации» определяются виды деятельности ИЛП и соответствующих подразделений: логистический анализ, планирование ТОиР, планирование МТО и обеспечение эксплуатационно-технической документацией.

ИЛП вносит новшества, направленные на повышение эффективности работы участников жизненного цикла. Главное новшество заключается в том, что технология ИЛП выступает интегратором и анализатором результатов работы участников ИЛП, на основе чего появляется возможность моделирования процессов жизненного цикла с целью выработки рациональных инженерных и управленческих решений.

Правильно организованная деятельность в рамках ИЛП может стать одним из ключевых механизмов реализации принципа «управление предприятием, через «управление качеством».

Структурно ИЛП представляет собой систему - комплекс соответствующих подразделений, организационно-технических мероприятий, программно-аппаратных средств и баз данных, с помощью которых реализуются виды деятельности ИЛП.

Важно понимать, что система ИЛП условно состоит из подсистемы «ИЛП промышленности» и подсистемы «ИЛП эксплуатации».

Система ИЛП предназначена для координации деятельности всех участников жизненного цикла изделий, внедрения технологий и автоматизации решения функциональных задач ИЛП.

Задача системы ИЛП - обеспечение заданного уровня готовности изделия к безотказному выполнению полёта (боевого задания) при минимальной стоимости ТОиР.

В данное определение сведены три эксплуатационно-технические характеристики, определяющие сущность требуемого результата от применения технологии ИЛП:

1. Коэффициент готовности изделия - вероятность того, что изделие окажется в исправном состоянии в любой момент времени за исключением периодов, когда его использование не планируется [19];
2. Вероятность безотказной работы изделия при выполнении полёта (боевого задания) - вероятность того, что во время полёта не произойдет отказа из-за которого полётное задание не будет выполнено [23];

3. Объединенная удельная оперативная стоимость ТОиР.

Процессы информационно-аналитической, управленческой и производственной деятельности, выполняемые в организациях-участниках ИЛП, требуют высокой степени автоматизации и распределяются по соответствующим подсистемам, строящихся на модульном принципе. Функции этих подсистем и их модулей дают обоснования возможности реализации ИЛП, где главная роль отводится разработчику ВС. Данное обстоятельство предъявляет к разработчику особые требования:

- создание изделия с максимально возможным «запасом надежности» и эффективной системы авторского надзора;
- всестороннее понимание всех процессов жизненного цикла, роли и места каждого элемента системы ИЛП;
- обеспечение создания единой информационной среды в сфере PLM.

Проблема создания единой информационной среды выходит на первый план и требует масштабных работ по автоматизации производственных процессов участников ЖЦ. Имеющиеся наработки в этом вопросе представляют собой разрозненные элементы системы ИЛП, которые используются фрагментно, а в целом они не могут давать положительного результата.

Как отмечалось ранее, основополагающей частью ИЛП является АЛП, который выполняется в специализированном ПО. В этом ПО создается база данных, которая является ядром всего процесса. Важным моментом является и то, что эту БД АЛП можно использовать как единый источник для накопления и анализа информации.

Рынок программного обеспечения в этой сфере широк, по результатам сравнения функциональных возможностей, удобства использования, доступности ПО и технической поддержки разных ПО, выбрана информационно-аналитическая система ILS Suite, стоящая в реестре отечественного ПО (регистрационный номер ПО - 4086) [36].

ILS Suite (Integrated Logistic Support Suite) предназначена для решения задач мониторинга технического состояния сложных машиностроительных изделий в

ходе их испытаний и эксплуатации. Функциональность системы обеспечивает получение от эксплуатантов сведений о ходе эксплуатации изделий, их накопление, обработку и анализ, с тем, чтобы обеспечить непрерывный мониторинг состояния эксплуатируемых изделий и обеспечить высокий уровень их готовности и безопасности эксплуатации [7].

Описание внедрения системы ILS Suite на предприятие для поддержки жизненного цикла вертолѐта Ми-171А2 изложено в разделе 3.2.

4.2. Разработка и внедрение единой базы данных анализа логистической поддержки вертолѐта Ми-171А2

Единая база данных необходима для создания общего информационного поля, как единственного источника для сбора информации и последующей аналитической ее обработки.

База данных описывает состав вертолѐта в виде логистической структуры в иерархическом порядке. Состав и описание выполняется в соответствии с руководством по эксплуатации вертолѐта [12].

Исходная БД содержит свойства компонентов, регламент обслуживания вертолѐта и технологические карты. Далее БД наполняется сведениями из эксплуатации.

Свойства компонентов включают в себя следующую информацию:

- Наименование, обозначение.
- Классификация изделия.
- Зоны и места доступа.
- Сведения о разработчике и изготовителе
- Параметры поставки: стоимость, поставщик.
- Сведения о надёжности: наработка на отказ, интенсивность отказа.
- Параметры МТО и ТОиР.
- Ресурсы и сроки службы компонента.
- Сведения о выполняемых функциях, видах отказов.
- Ссылки на технологические карты и привязка к ним.

Технологические карты содержат:

- общие сведения о работе (наименование, время выполнения, количество исполнителей),
- технологию выполнения работы, требуемые запчасти, расходные материалы, оборудование, персонал.

Сведения из эксплуатации (мониторинг эксплуатации) заключается в пополнении БД следующей информацией:

- пополнение и изменение экземплярного состава ВС, движение изделий в эксплуатации,
- сведения о налёте и наработке ВС и его КИ,
- сведения о выполненных работах при ТОиР.

Модель взаимодействия и обмена информацией между участниками ЖЦ вертолёт в единой информационной БД представлена на рис. 4.2, где:

- разработчик ВС – АО «МВЗ им.М.Л.Миля»,
- завод-изготовитель – АО «У-УАЗ»,
- эксплуатант ВС – АО «ЮТэйр»,
- управляющая компания – АО «Вертолёты России»,
- органы авиационной власти – ФАВТ Росавиация;

сервисные центры и поставщики КИ – предприятия промышленности выполняющие разработку и поставку КИ, а также предоставляющие услуги по ремонту КИ и ВС.

Внедрение ДБ

В настоящей работе реализован обмен данных между тремя участниками ЖЦ – разработчиком ВС, заводом-изготовителем и эксплуатантом ВС (на рис. 4.2 обозначены красными линиями).

В АО «МВЗ им. М.Л.Миля» база данных создавалась в программном комплексе ILS Suite. Проведены следующие работы:

1. Создана логистическая структура вертолёт типа Ми-171А2. являющаяся электронным формуляр;
2. В БД внесён план ТОиР. К каждому виду работ прикреплен имеюща-

яся документация (сборник технологических карт);

3. Составлен и внесен в БД справочник поставщиков КИ, перечень СНО, КПА и МТО;

4. Силами АО «У-УАЗ» типовой состав логистической структуры переведен в экземплярный путем внесения паспортных номеров агрегатов и КИ вертолёт, внесена информации о ресурсах и сроках службы установленных КИ и агрегатов;

5. Силами АО «ЮТэйр-Инжиниринг» :

- заполняются карты полётов,
- вводится информация об отказах,
- вводится информация о проведенных работах на вертолёте.

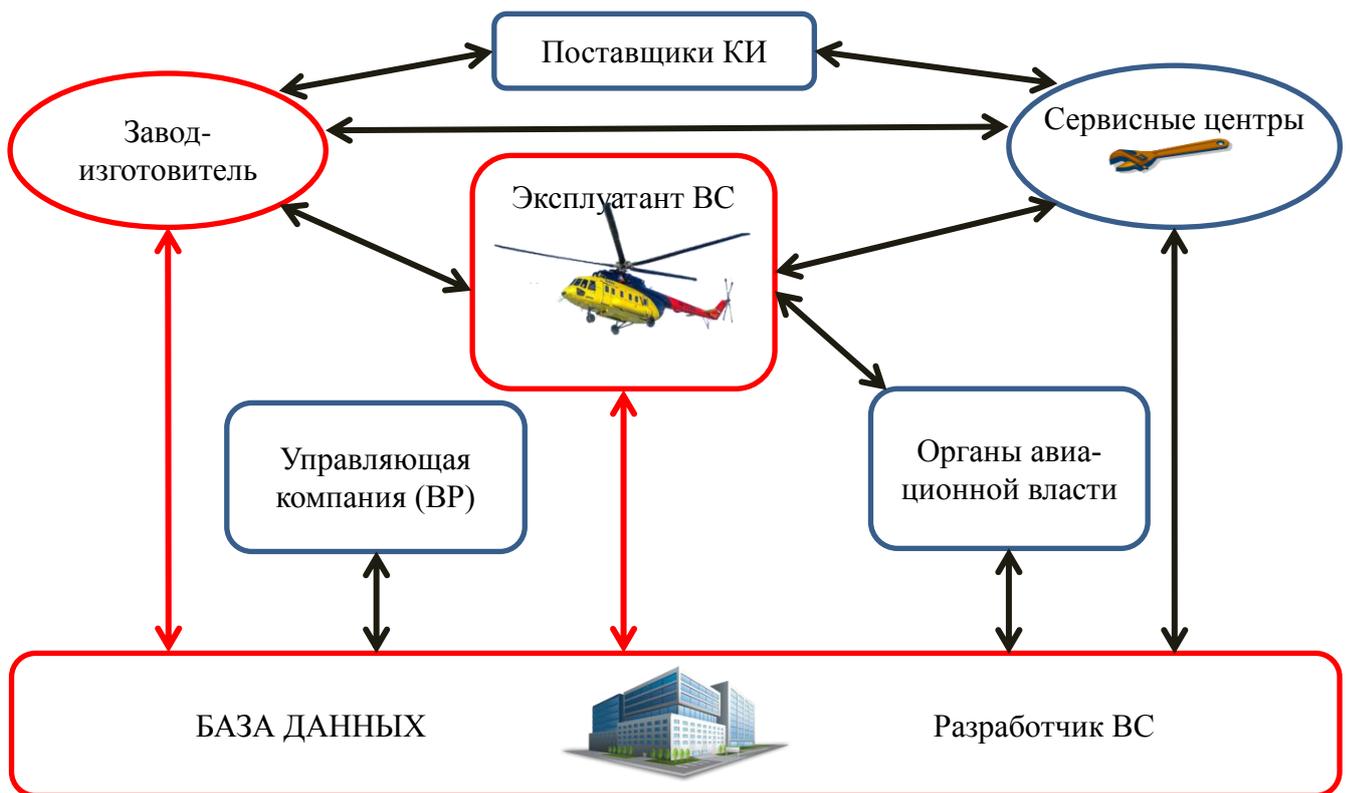


Рис. 4.2 – Схема взаимодействия в единой информационной базе данных

Часть логистической структуры вертолёт Ми-171А2 выполненной в программе ILS Suite представлена на рис. 4.3. Логистическая структура формируется из справочника «Компоненты и запчасти». ILS Suite позволяет устанавливать ло-

гические связи между справочниками и создаваемыми логистическими объектами. Таким образом формируется единообразие типов и исключается ошибочный ввод наименований объектов. Формирование экземплярного состава на основе логистической структуры показано на рис. 4.4.

На рис. 4.5 представлена схема описывающая реализованную на практике организацию серверного пространства БД программы ILS Suite и подключения к ней пользователей для работы в ней.



Рис. 4.5 – схема организации серверного пространства единой БД

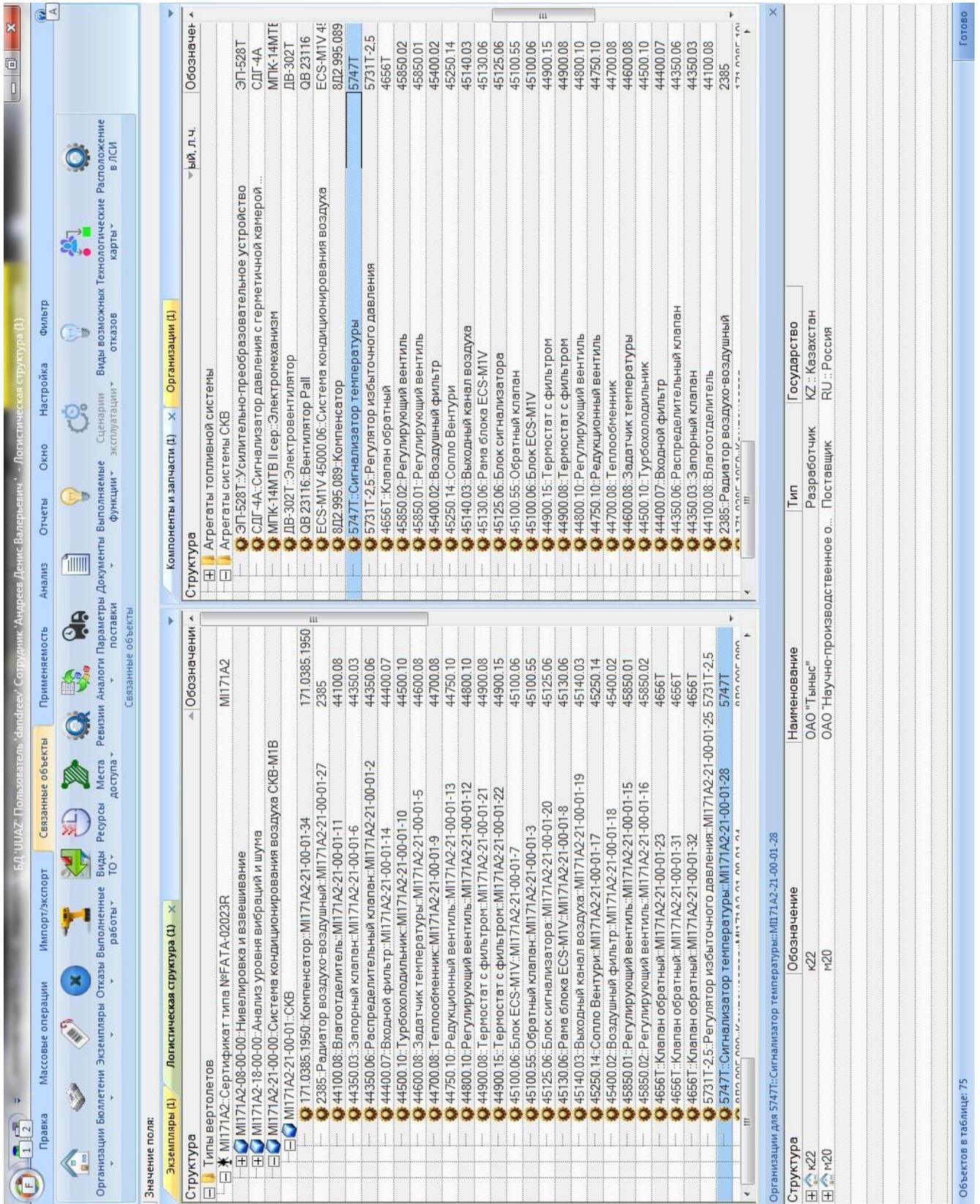


Рис. 4.3 – Формирование логистической структуры вертолёта Ми-171А2 в ПО ILS Suite из справочников «Компоненты и запчасти» и «Организации», установление логической связи между элементами.

BD ЧШАЗ Пользователь 'dandrey' Сотрудник 'Андрей Денис Валерьевич' - Экземпляры (1)

Настройка

Правка Импорт/экспорт Окно

Печать таблицы Печатающий отчет

Движение Удалить Правка

Создать

Обновить из БД Отменить Установить права доступа Быстрый поиск

Развернуть Настройка Свойства Просмотр документов Загрузить Вид

Показать колонки... Колонки по умолчанию

Авторазмер Сохранить

Значение поля: 21.05.2018

Экземпляры (1) × Логическая структура (1)

Обозначение типа	Заводской номер	Дата изготовления	Дата установки	Наименование
Ми-171А2				Ми-171А2
MI171A2	0103	24.07.2017	09.01.2019 12:00	Сигнализатор давления с герметично
MI171A2	171A02643170102U	18.04.2017	29.11.2018 12:00	Сигнализатор температуры
MI171A2	171A02356170104U			Блок ECS-M1V
MI171A2-08-00-00: Нивелировка и взвешивание				
MI171A2-18-00-00: Анализ уровня вибраций и шума				
MI171A2-21-00-00: Система кондиционирования воздуха СКВ-М1В				
MI171A2-21-00-01: СКВ				
48753796: СДГ-4А: Сигнализатор давления с герметичной к.	СДГ-4А			
5747T: Сигнализатор температуры	5747T			
45100.06: Блок ECS-M1V:1	45100.06			
45125.06: Блок сигнализатора:1	45125.06			
15B0260: QB 23116: Вентилятор Rail	QB 23116	21.05.2018	14.12.2018 12:00	Вентилятор Rail
44100.08: Влагоотделитель:1	44100.08			Влагоотделитель
45400.02: Воздушный фильтр:1	45400.02			Воздушный фильтр
44400.07: Входной фильтр:1	44400.07			Входной фильтр
45140.03: Выходной канал воздуха:1	45140.03			Выходной канал воздуха
0010: 44600.08: Задатчик температуры	0010	21.05.2018	23.01.2019 12:00	Задатчик температуры
44350.03: Запорный клапан:2	44350.03			Запорный клапан
0080: 44350.03: Запорный клапан	0080	21.05.2018	19.12.2018 12:00	Запорный клапан
0617067: 4656T: Клапан обратный	0617067	02.10.2017	09.01.2019 12:00	Клапан обратный
0617069: 4656T: Клапан обратный	0617069			Клапан обратный
1017153: 4656T: Клапан обратный	1017153	17.11.2017	09.01.2019 12:00	Клапан обратный
11/01112013: 171 0385.1950: Компенсатор	171 0385.1950	04.11.2013	15.02.2019 12:00	Компенсатор
111600703: 8D2.995.089: Компенсатор	111600703	30.11.2016	14.12.2018 08:00	Компенсатор

Движения для 031715::5747T::Сигнализатор температуры

Структура	Тип	BC/агрегат	Место установки	Экземпляр	Дата установки	Описание	Отказ
031715:5747T::Сигна...	Установка	171A02356170104U:MI...	MI171A2-21-00-01::СКВ:1	031715:5747T::Сигнализатор те...	29.11.2018 12:00		не задано

Организации для 5747T № 031715 Движения для 031715::5747T::Сигнализатор температуры

Объектов в таблице: 1

Готово

Рис. 4.4 – Формирование экземплярного состава вертолёта Ми-171А2 в ПО ILS Suite

При решении задачи по созданию и работе в единой базе данных, возникли проблемы, а именно:

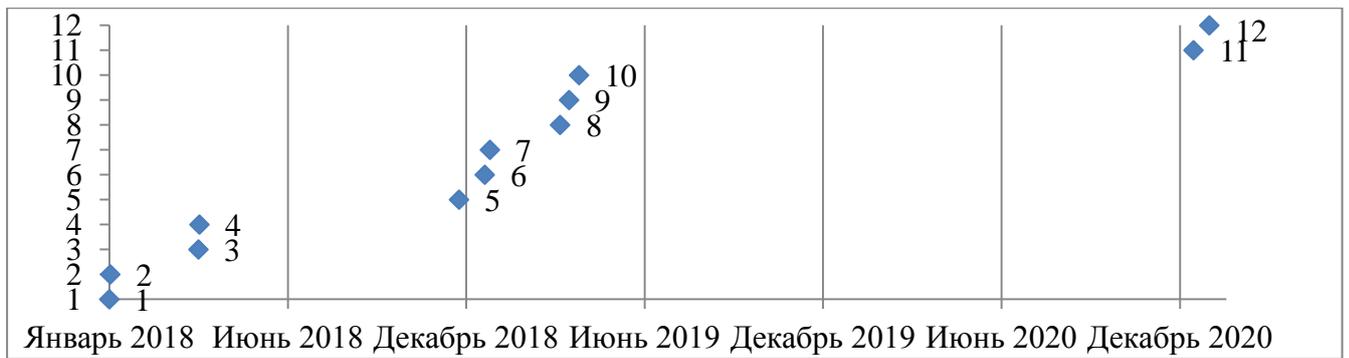
1. Отсутствие возможности прямого подключения сторонней организации к серверам АО «МВЗ им. М.Л. Миля». Такие условия продиктованы требованиями по обеспечению информационной безопасности. Подобная ситуация и аналогичная проблема присутствует при создании информационных баз данных в Государственной авиации.

Решением проблемы является передача части базы данных Разработчика адаптированной под конкретного эксплуатанта.

2. Специфика эксплуатации вертолётной техники. В отличие от самолетов (за исключением некоторой части легкой авиации и авиации специального назначения), которые совершают перелеты от одного оборудованного аэродрома до другого, вертолёты эксплуатируются, главным образом, между вертолётными площадками с инфраструктурой или же от оборудованной площадки до любой пригодной для посадки площадки. Поэтому, зачастую, нет возможности заполнять электронный формуляр сразу после посадки, в том числе полный отказ от бумажных носителей или промежуточных записей в электронных планшетах лётчиков пока невозможен.

Также должен быть решен вопрос о связи базового аэродрома с точками базирования. Для вертолёта Ми-171А2 (на момент подконтрольной эксплуатации) точка базирования - вертолётная площадка г.Тобольск, а базовым аэродромом – АО «ЮТэйр-Инжиниринг» (г. Тюмень). Связь БД между городами осуществлена по корпоративному каналу сети интернет.

На примере вертолёта Ми-171А2 представлена дорожная карта внедрения единой БД (рис. 4.6). В силу большого массива вносимых данных в БД работы по наполнению БД начинаются заблаговременно до передачи готовой БД в эксплуатирующую организацию.



Точка	Период		Выполняемая работа
	от	до	
1	Январь 2018	-	Установка ПО
2-3	Январь 2018	Апрель 2018	Период тестирования
4-5	Апрель 2018	Декабрь 2018	Период формирования справочников, создание логической структуры вертолётa
6	Январь 2019	-	Передача прав АО "У-УАЗ" на заполнение БД
7-8	Январь 2019	Апрель 2019	Период формирования экземплярного состава вертолётa
9	Апрель 2019	-	Передача БД в АО "Ютэйр"
10-11	Апрель 2019	Декабрь 2019	Сбор, учет и анализ данных из эксплуатации
12	Январь 2021	-	Отчетная документация о результатах тестирования ILS Suite в качестве электронного формуляра

Рис. 4.6 – Дорожная карта внедрения единой базы данных

Результаты использования БД:

Введенная в базу данных информация используется для:

- мониторинга исправности парка;
- отслеживания движения КИ, агрегатов и вертолётa в эксплуатации;
- учета выполнения бюллетеней;
- расчета параметров МТО;
- учета отказов и повреждений, расчет показателей надёжности;
- учета и анализа происшествий, внесение информации о рекомендациях комиссии по расследованию авиационных происшествий в адрес МВЗ и учета их выполнения;
- автоматизации рекламационной работы для представителей гарантийных бригад и формирование сводной отчетности по качеству.

В части получения, статистической обработки и анализа сведений о надежности и других ЭТХ изделия, параметрах СТЭ, ПО обеспечивать расчет на основе сведений из ЭДИ следующих показателей в соответствии с [54, 59]:

1. Показатели безотказности:

- средняя наработка на отказ;
- параметр потока отказов;
- средняя наработка изделия на неплановый съем.

2. Показатели эксплуатационной (ремонтной) технологичности:

- удельная суммарная трудоемкость ТО (ремонта);
- средняя трудоемкость ТО (ремонта);
- средняя трудоемкость (продолжительность) работы планового ТО;
- удельная суммарная продолжительность ТО (ремонта);
- средняя продолжительность ТО (ремонта);
- среднее время восстановления работоспособного состояния.

3. Показатели контролепригодности:

- частота неподтвержденных отказов;
- среднее время поиска отказа.

4. Комплексные показатели:

- удельные прямые затраты на ТО (ремонт);
- коэффициент исправности.

4.3. Использование результатов анализа по отказобезопасности

Рассмотрим применение анализа отказобезопасности и элементов ИЛП на следующих этапах разработки ВС и его систем:

1. Техническое предложение (аванпроект);
2. Эскизный проект;
3. Технический проект;
4. Рабочее проектирование;
5. Изготовление опытного образца;
6. Испытания;
7. Сертификация.

1. Техническое предложение (аванпроект).

Под техническим предложением (аванпроектом) понимается предварительный план создания изделия. При этом могут представляться несколько вариантов конструкции с предварительными (ожидаемыми) технико-экономическими характеристиками.

На этом этапе необходимо определить (разработать) стратегию ИЛП изделия, которая определит направление развития и взаимосвязь всех этапов проектирования.

Проработка предложений проводимые с помощью баз данных АЛП позволяет произвести расчет СЖЦ. В этом случае БД состоит из абстрактных систем, которым присваиваются ожидаемые свойства. На следующих этапах или при имеющихся данных свойства уточняются, что позволит точнее оценить ожидаемые характеристики.

Результатом разработки аванпроекта является разработанное развернутое технико-экономическое обоснование возможности и целесообразности создания нового изделия. Для этого разрабатываются основные технические решения, определяются состав изделия, сроки разработки, возможности промышленного производства, состав предприятий промышленности, участвующих в разработке изделия, разрабатывается план совместных работ и проект тактико-технического задания на выполнение ОКР.

2. Эскизный проект.

Эскизный проект выполняется с целью определения принципиальных конструктивных, схемных и технологических решений.

Проработка технических решений в части обеспечения надёжности и отказобезопасности важна на ранних этапах. По результатам оценки функциональной опасности (ФНА) определяются требования к необходимому и достаточному уровню надёжности проектируемых изделий. Без проведения ФНА велика вероятность ошибочно определить и задать эти требования. Неверно заданные требования могут повлечь либо чрезмерное удорожание (высокую стоимость ЖЦ) из-за излишнего резервирования либо, что опаснее, неучтенные технические риски и

низкая надёжность изделий в дальнейшем могут привести к авиационным происшествиям. А в случае выявления таких ошибок на последующих этапах разработки приведет к необходимости внесения изменений в конструкцию, что негативно скажется на стоимости проектирования.

Уточненные по результатам проработки эскизного проекта данные вносятся в базу данных АЛП.

3. Технический проект.

Технический проект проводится с целью выявления окончательных технических решений по разрабатываемому изделию.

Основным инструментом на этом этапе является проведение предварительной оценки безопасности (PASA, PSSA). Эта оценка используется также для демонстрации соответствия системы качественным и количественным требованиям, связанным с различными выявленными опасностями. Итерационный процесс разработки изделия и проверки его на соответствие требованиям по безопасности производится до тех пор пока архитектура разрабатываемой системы не будет удовлетворять всем заданным требованиям.

Уточненные по результатам проработки эскизного проекта данные вносятся в базу данных АЛП. На этом этапе в БД может быть разработана достаточно точная логистическая структура изделия. По имеющимся данным составляется предварительная программа ТОиР, что позволяет с достаточной точностью вычислить СЖЦ и оценить эксплуатационную и ремонтную технологичность.

В случае если показатели технологичности проектируемого изделия неудовлетворительные, то необходимы мероприятия по ее улучшению. На этапе технического предложения такие мероприятия затрагивают только проектирование «на бумаге» и не требуют внесения изменений в процесс разработки литерной РКД и в изготовление опытного образца.

Завершением этапа является разработанный технический проект варианта конструкции с оптимальной ТОиР который будет реализован на стадии рабочего проектирования.

4. Рабочее проектирование.

Целью рабочего проектирования является разработка РКД для изготовления и проведения испытаний опытного образца разрабатываемого изделия. Важно отметить, что эксплуатационная документация является частью РКД и создается на этом этапе.

Созданная РКД на этапе рабочего проектирования проходит через процедуру анализа отказобезопасности. На этом этапе РКД проходит верификацию установленных требований безопасности.

В базу данных АЛП вносятся вся информация согласно РКД, составляется окончательная логистическая структура изделия, уточняются свойства компонентов. На основании этих данных разрабатывается план ТОиР под заданные стратегией ИЛП модели эксплуатации, рассчитывается СЖЦ.

5. Изготовление опытного образца.

Целью изготовления опытного образца является предварительная оценка соответствия разработанных технических решений и их конструкторской реализации требованиям ТЗ. Образец изделия изготавливается по разработанной РКД для отработки, доводки и настройки в целях подготовки к испытаниям.

6. Испытания.

Испытания разделяются на виды и включают в себя: стендовые, наземные и лётные испытания. При этом их назначение может быть разное и включать в себя испытания на прочность, отработку ЛТХ, оценку ЭТХ, проверка нормальной работы систем, проверку работы систем при отказах. Для проведения каждого из них необходимо разработать соответствующую программу испытаний.

Рассмотрим испытания по проверке работы систем при имитации отказов. Такой вид испытаний служит дополнительной проверкой того, что спроектированное ВС отвечает требованиям отказобезопасности. В данных программах оценивается наличие необходимой сигнализации о возникновении отказа, способность экипажа распознать и парировать отказ, оценку полноты эксплуатационной документации. Объем каждого из видов программ устанавливается на основании раздела отчетов по анализу отказобезопасности систем называемый «Перечень

расчетных случаев».

Перечень расчетных случаев составляется для определения видов работ и проверок, необходимых для исследования последствий функциональных отказов. Расчетные случаи формируются для функциональных отказов и их комбинаций, не относящихся к категории практически невероятных ($q \leq 10^{-9}$), а также для случаев которые предварительно классифицированы как приводящие к АС, СС или УУП и дальнейшее исследование которых признано целесообразным.

Также перечень расчетных случаев определяет каким видом испытаний необходимо верифицировать обнаруженное в процессе анализа отказобезопасности отказное состояние ВС или системы. Анализ возможных видов отказов, как часть анализа отказобезопасности, позволяет выявить причины возможных отказов и провести испытания имитируя их. Таким образом исключаются ошибки проектирования, связанные со скрытыми отказами, недоработками конструкции в части индикации об отказах, проверяется достаточность резервирования функций систем, оценивается качество эксплуатационной документации.

7. Сертификация.

Сертификация ВС длительный и трудоемкий процесс. Процесс включает в себя множество этапов и начинается от создания АТ соответствующей требованиям норм лётной годности и заканчивающийся получением сертификата типа. Применительно к вновь создаваемым образцам АТ, в существующие правила [73], предписывается следующую последовательность основных этапов сертификации:

- подача заявки в ФАВТ «Росавиация» на получение Сертификата типа;
- разработка сертификационного базиса и утверждение его в ФАВТ «Росавиация»;
- сертификационные заводские и контрольные испытания образца ВС;
- анализ результатов сертификации, принятие решения и выдача Сертификата типа.

Этот этап необходим для демонстрации и доказательства авиационным властям того, что разработанное ВС удовлетворяет всем требованиям. На этом этапе результаты анализа отказобезопасности используются в качестве доказательной

документации для обоснования и подтверждения пунктов сертификационного ба-
зиса при проведении испытаний.

Выводы по главе 4

1. Применение стратегии ИЛП позволит упорядочить процесс разработки и
связать его с этапом эксплуатации.

2. Разработанная база данных и внедрение ее на предприятия показала, что
работа в едином информационном поле перспективна с точки зрения обмена дан-
ными и получения актуальной информации.

3. Внедрение анализа отказобезопасности на все этапы разработки позволит
снизить технические риски, а использование технологий ИЛП позволит детальнее
прорабатывать проекты на ранних этапах разработки изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика проектирования отечественных транспортных вертолётов с учетом стоимости жизненного цикла и обеспечения безопасности полёта.

Решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ уровня безопасности полётов и достигнутых показателей надёжности парка отечественных транспортных вертолётов, находящихся в эксплуатации. Показатели надёжности и безопасности полётов отечественных транспортных вертолётов не ухудшаются, что позволяет внедрять более экономичные системы технического обслуживания.

2. Проведен анализ существующей модели технической эксплуатации вертолётов. Анализ показал, что существующая модель технической эксплуатации морально устарела. Проведенная оценка перечня оперативных и регламентных работ выявила высокую трудоемкость их выполнения. Это приводит к увеличению затрат на содержание вертолётов.

3. Применена концепция «приемлемого риска». Концепция позволяет прогнозировать и оценивать безопасность эксплуатации ВС до его запуска в серийное производство и передачи потребителю. этапе проектирования вертолёта при формировании плана технического обслуживания.

4. Проведена оценка отказобезопасности функциональных систем вертолёта на стадии проектирования. Анализ отказобезопасности совмещенный с концепцией приемлемого риска позволил выявить аналитическим путем имеющиеся недостатки в конструкции. Оценка отказобезопасности дает исходные данные для проверки при проведении наземных и лётных испытаний, что позволяет выявлять недостатки конструкции на ранних стадиях проектирования. При проектировании новых изделий, результаты оценки используются в качестве исходных данных для технических заданий в части требований по безотказности, полноте функций и уровня гарантий проектирования.

5. Разработана программа технического обслуживания вертолёта на основе стратегии технической эксплуатации «по состоянию». Разработан и применен ал-

горитм выбора метода технической эксплуатации вертолѐта с применением концепции приемлемого риска, что позволило обосновать вид и периодичность технического обслуживания при применении стратегии «по состоянию».

6. Оценена экономическая эффективность перехода на предлагаемую систему технической эксплуатации вертолѐта. Переход на частичную техническую эксплуатацию «по состоянию» позволяет снизить трудоемкость на 30% и на 25% сократить расходы на эксплуатацию вертолѐта.

7. Разработана концепция внедрения технологии интегрированной логистической поддержки в практику отечественного вертолѐтостроения на различные этапы жизненного цикла ЛА. По результатам работы, одной из наиболее проработанной части внедрения технологий ИЛП является созданная единая база данных для разработчика, производителя и эксплуатанта воздушного судна. База данных позволяет отслеживать состояние ВС на этапе эксплуатации, накапливать и анализировать информацию по стоимости эксплуатации, отслеживать ресурсы, остаточные сроки службы, а также оценивать достигнутые показатели надёжности ВС, находящихся в эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Авиационные масла Б-3В [Электронный ресурс] (дата обращения: 10.05.2019) https://www.pulscen.ru/price/040130-aviacionnye-masla/f:61665_b-3v
- 2 Авиационные правила. Часть 21. Процедуры сертификации авиационной техники. Межгосударственный авиационный комитет, 2003. - 54 с.
- 3 Авиационные правила. Часть 29. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет, 2003. - 136 с.
- 4 Александровская Л.Н., Аронов И.З., Круглов В.И. Безопасность и надежность технических систем. НУБ, 2008. – 376 с.
- 5 Андреев Д.В. Анализ и контроль уровней технических рисков на различных этапах жизненного цикла вертолётов// Труды МАИ №101. 2018.
- 6 Аронов И.З., Современные проблемы безопасности технических систем и анализа риска. Стандарты и качество, 1998. – С. 45-59.
- 7 Барзилович Е.Ю., Оптимальное управление состоянием систем на основе решений, упреждающих неблагоприятные ситуации: монография, М.: ТЕИС, 2006. – 144 с.
- 8 Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б., Расчет на прочность деталей машин, Справочник 4-е издание. Москва (Машиностроение), 1993
- 9 Богданов А.Е., Организационно-управленческие технологии создания и технического обслуживания морской техники, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, специальность 05.08.04, Санкт-Петербург, 2017
- 10 Бойко О.Г., Совершенствование методов расчета надежности функциональных систем самолетов гражданской авиации и исследование процессов старения, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, специальность 05.07.02 2010, Красноярск
- 11 Вертолёт Ми-171А2 Нормы расхода предметов снабжения (эксплуатационные), 2016

- 12 Вертолет Ми-171А2, Ведомость эксплуатационных документов MI171A2-SAZS0-LOAP0-00, 2017
- 13 Вертолет Ми-38-2, Ведомость эксплуатационных документов 2602.0000.00ВЭ-ЛУ, 2017
- 14 Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Салов С.С., Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. / -М.: Наука, 2000.–431с.
- 15 Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 03.08.2018) (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.08.2018)
- 16 Гафуров Д.С., Методы совершенствования системы поддержания лётной годности воздушных судов в условиях международных требований по обеспечению безопасности полётов, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, специальность 05.22.14, Москва, 2016
- 17 Гершман Ю.С., Неймарк М.С., Петров А.В., Цесарский Л.Г. Интегрированный комплекс для обеспечения безопасности полётов. Международный авиационно-космический журнал АвиаСоюз №1 (69), февраль-март 2018
- 18 Гипич Г.Н. и др. Риски и безопасность авиационных систем. ФГУП ГосНИИ ГА, 2013. – 232 с.
- 19 ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения, М.: Стандарт, 2017
- 20 ГОСТ 18675–2012. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия для нее. М.: Стандарт. 2012
- 21 ГОСТ 2.902-2005 ЕСКД Порядок проверки, согласования и утверждения конструкторской документации, М.: Стандарт, 2005
- 22 ГОСТ 27.002-2015 Надёжность в технике. Термины и определения. М.: Стандарт, 2016
- 23 ГОСТ В 23743-88 Изделия авиационной техники. Безопасность полёта, надёжность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность. Номенклатура показателей
- 24 ГОСТ Р 2.903-96 ЕСКД Правила поставки документации, Госстандарт России

- 25 ГОСТ Р 51897-2011 Руководство ИСО 73:2009. Менеджмент риска. Термины и определения. М. : Стандартиформ, 2012
- 26 ГОСТ Р 53392-2017 Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Основные положения, М.: Стандарт, 2018
- 27 ГОСТ Р 53393-2017 Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения, М.: Стандарт, 2018
- 28 ГОСТ Р 53863-2010. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения. М.: Стандарт. 2011
- 29 ГОСТ Р 55860-2013. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. Общие принципы построения СМБ на всех этапах жизненного цикла авиационной техники. Структурная схема и функции модулей типовой СМБ. Общие положения. М. : Стандартиформ, 2014. - 22 с.
- 30 Далецкий С.В., Деркач О.Я., Петров А.Н. Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации - М.: Воздушный транспорт, 2002. 216с.
- 31 Динамика официального курса заданной валюты. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cbr.ru/currency_base/dynamics/?UniDbQuery.Posted=True (дата обращения 20.03.18).
- 32 Дополнение к сводному отчету по анализу отказобезопасности систем вертолёта Ми-171А2, №17121.54.02/СО, Москва, 2016
- 33 ДС 54-003-025-89 Инструкция. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения
- 34 Евдокимов В.Г. Интегрированная логистическая поддержка производства вертолётов Ка-32. – М.: Авиатехприемка, 2011
- 35 Евдокимов, В.Г. Мониторинг и обеспечение безопасности полётов с учетом изменения функциональных свойств и факторов рисков сложных технических систем (авиационных систем): автореф. дис. д-ра тех. наук: 05.22.14/ Евдокимов Владимир Григорьевич. -М., 2013. - .38 с.

- 36 Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. Integrated Logistic Support Suite (ILS Suite), Рег. номер ПО: 4086 Решение уполномоченного органа: Приказ Минкомсвязи России от 07.12.2017 №680 [Электронный ресурс] (дата обращения: 18.02.2019) https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/120944/?sphrase_id=173744
- 37 Ежегодные информационно-аналитические сборники «Анализ авиационных событий, происшедших в государственной авиации РФ в году» (за период 2011-2015 гг.).
- 38 Ежемесячные экспресс-бюллетени по аварийности в государственной авиации РФ (за период 2011-2015 гг.).
- 39 Жмеренецкий В.Ф., Полулях К.Д., Акбашев О.Ф. Активное обеспечение безопасности полёта летательного аппарата. ЛЕНАНД, 2014. – 320 с.
- 40 Зосимов А.Г., Эксплуатационные нагрузки и надежность агрегатов и функциональных систем самолетов гражданской авиации, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, специальность 05.07.02 2008, Красноярск
- 41 Зубков Б.В., Прозоров С.Е. Методика оценки риска в системе управления безопасностью полётов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2011. - № 174. - С.7-11.
- 42 ИКАО Doc 9760 AN/967, Руководство по лётной годности. Том I, 2014
- 43 ИКАО, Глобальный план обеспечения безопасности полётов. – 2013. – 76 с.
- 44 ИКАО, Руководство по обеспечению безопасности полётов (РУБП) / пер. с англ. Doc. 9859, AN/460. Минтранс РФ. М., 2009.
- 45 Ильичев В.Д., Расчет текущего безопасного ресурса конструкции. Выпуск 1391 – ЦАГИ, 1972
- 46 Инфляция на потребительском рынке. [Электронный ресурс]. URL: http://www.cbr.ru/statistics/?PrId=macro_sub (дата обращения 20.03.18).
- 47 Керосин авиационный ТС-1 [Электронный ресурс] (дата обращения: 10.05.2019) <http://aktivel.ru/kerosin-ts-1/>

- 48 Князьков П.В., Анализ и обеспечение надежности воздушных судов гражданской авиации в процессе их эксплуатации, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, специальность 05.22.14 2001, Санкт-Петербург
- 49 Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусейков А.П.. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. Машиностроение, 1985
- 50 Когге Ю.К., Майский Р.А., Основы надёжности авиационной техники, Москва, 1993, Машиностроение. УДК 629.7-192:658.62.018.2
- 51 Матвеев Г.Н. Метод упреждающего управления безопасностью полётов в авиационных предприятиях. автореф. дис. канд тех. наук: 05.22.14/ Матвеев Георгий Николаевич. -М., 2010
- 52 Методика №620-IV совместной межведомственной оценки эксплуатационно-технических характеристик самолётов, вертолётов и их комплектующих изделий в эксплуатации. УДК 629.735.45.018. 1990, Лётно-исследовательский институт им. М.М. Громова
- 53 Методика формирования плана технического обслуживания и ремонта функциональных систем летательных аппаратов военного назначения №880-87-IV, 1987
- 54 Методические указания №1044-IV по практическому применению норм БНКТ для объектов, находящихся в эксплуатации. УДК 629.7.017.1. 1990, Лётно-исследовательский институт им. М.М. Громова
- 55 Министерство транспорта Российской Федерации Приказ об утверждении Федеральных авиационных правил «Порядок выдачи удостоверения о годности к полётам» и «Порядок сертификации юридических лиц, осуществляющих техническое обслуживание воздушных судов».
- 56 Ожидаемые условия эксплуатации вертолёт Ми-171А2, 2012.
- 57 Орлов А.И. Теория принятия решений. – М.: Экзамен, 2006.
- 58 Осипов Н.Д. Анализ статистических данных по безопасности авиационной деятельности на вертолётах типа Ми-8Т и Ми-8МТВ-1(АМТ) в ГА России за период с 1994 по 2013 год.

- 59 ОСТ 1 00497-97 Авиационный стандарт. Надёжность изделий авиационной техники. Методы оценки и анализа показателей надёжности самолётов (вертолёт) при их эксплуатации.
- 60 ОСТ 1 02776-2001 Авиационный стандарт. Эксплуатация техническая авиационной техники по состоянию. Основные положения.
- 61 Перель Л.Я., Подшипники качения. Расчет, проектирование и обслуживание: Справочник. Машиностроение, 1983
- 62 Петров А.В., Судов Е.В. Технология расчета затрат на техническую эксплуатацию ПВН: сетевой журн. 2018. URL: <https://cals.ru/lisa-suite-metodicheskie-materialy> (дата обращения: 12.04.18).
- 63 Под ред. Северцева Н.А. Вопросы теории безопасности и устойчивости систем, ВЦ РАН им. А.А. Дородницына, 2005. – 178 с.
- 64 Постановление Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2014 г. N 1215 "О порядке разработки и применения систем управления безопасностью полётов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полётов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими". [Электронный ресурс] <https://rg.ru/2014/11/21/polet-site-dok.html> (дата обращения: 05.05.2018)
- 65 Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов (ПРАПИ-2000).
- 66 Прайс наличия авиазапчастей Ми-8 [Электронный ресурс] (дата обращения 06.02.18) URL: <http://taifunavia.ru/>
- 67 Приказ ФАС РФ от 26.06.1997 №134 «О мерах по совершенствованию системы контроля за сохранением летной годности ВС на основе данных об отказах, неисправностях авиатехники и нарушениях правил ее эксплуатации»
- 68 Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. Эксплуатация воздушных судов. Часть 3 Международные полёты. Вертолёты. 2010

- 69 Проблемы создания перспективной авиационно-космической техники. ФИЗМАЛИТ, 2005. – 648 с.
- 70 Прозоров С.Е., Вербин А.В. Оценка угрозы и управление риском в авиационной безопасности, Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 78, 2014. – 7 с.
- 71 Рекомендательный циркуляр АС 29-2С Винтокрылые ЛА транспортной категории, перевод ООО «Авангард» по заказу ОАО «Вертолёт России», Москва, 2013. – 1144 с.
- 72 Ресинец А.И. Эксплуатационная технологичность вертолетов : учеб. пособие / А.И. Ресинец; МАИ (Нац. исслед. ун-т). - М. : МАИ, 2018. - 93 с. : ил. - (Учебное пособие). - Библиогр.: с.87-90 (36 назв.). - ISBN 978-5-4316-0558-1.
- 73 Ресинец А.И., Колмаков В.С., Повышение качества послепродажного обслуживания – стратегическое направление развития отечественного вертолётостроения, academquality.ru
- 74 Решетов Д.Н., Детали машин. М. Машиностроение, 1989
- 75 Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З., Надёжность машин, Высшая школа, 1988
- 76 Руководство №4761 по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования самолётов гражданской авиации. Межгосударственный авиационный комитет Авиационный регистр, 2010. – 269 с.
- 77 Руководство Р4754 по процессам сертификации высокоинтегрированных сложных бортовых систем воздушных судов гражданской авиации (на базе документов SAE/APR4754 и EUROCAE/ED-79). Межгосударственный авиационный комитет, 2007. – 103 с.
- 78 Руководство Р4754А по разработке воздушных судов гражданской авиации и систем. М., 2012. 103с.
- 79 Рухлинский В.М. Новый критерий количественной оценки уровня безопасности полётов.// Научный вестник МГТУ ГА. – 2008. - № 135 (11). - С.202-204.

- 80 Свирский Ю.А., Трунин Ю.П., Панков А.В., Зайцев М.Д., Фагалов В.Ф. Бортовые системы мониторинга (БСМ) и перспективы применения в них волоконно-оптических датчиков. УДК 629.735.33 Композиты и наноструктуры №1, 2017
- 81 Сводный отчет по анализу отказобезопасности функциональных систем вертолёта Ми-38-2, №2602.0007.16, Москва, 2015
- 82 Семенихин Р.Л., Экспериментально-теоретическая оценка ресурсоспособности элементов вертолётных конструкций, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, специальность 05.22.14, МГТУ ГА, Москва, 2015
- 83 Сертификат типа №ФАТА-02023R на изделие «Вертолёт Ми-171А» модели «Ми-171А, Ми-171А1, Ми-171А2»
- 84 Сертификат типа №ФАВТ-01-Ми-38 (модель Ми-38-2) на изделие «Вертолёт Ми-38 (модель Ми-38-2)»
- 85 Сколько получает пилот гражданской авиации и Аэрофлота в России [Электронный ресурс] (дата обращения: 06.02.2018) <http://skolko-poluchaet.ru/skolko-poluchayut/zarplata-pilota.html>
- 86 Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. М.: Транспорт. 1987. 272с.
- 87 Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Современные проблемы технической эксплуатации воздушных судов. Часть 1, 2007. – 83 с.
- 88 Субботин Р.С. Краткий обзор бортовых систем диагностики и контроля технического состояния и параметров полёта на вертолётах прочности // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2016. № 15. с. 57-64.
- 89 Судов Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения / Левин А.И., Петров А.В., Чубарова Е.В. – М.: ООО Издательский дом «ИнформБюро». 2006. 232с.
- 90 Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.Н., Петров А.В., Бороздин Д.Н., и др. Анализ логистической поддержки: теория и практика — М.: Информ-Бюро, 2014 — 260 с.: ил. — ISBN 978-5-904481-21-6.

- 91 Уровень Инфляции в Российской Федерации [Электронный ресурс] (дата обращения: 10.05.2019) <http://уровень-инфляции.рф/>
- 92 Хенли Е. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценки риска./ Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1984.
- 93 Цены на авиаГСМ [Электронный ресурс] (дата обращения: 10.05.2019) <https://favt.ru/dejatelnost-ajeroporty-i-ajerodromy-ceny-na-aviagsm/>
- 94 Шаров В.Д. Использование компонентного анализа при обработке полётной информации. // Проблемы безопасности полётов. - 2006, № 3. - С.3-6.
- 95 Шаров В.Д. Макаров В.П. FMEA-FTA методология построения дерева развития авиационного события // Научный вестник МГТУ ГА. – 2011. - № 174.
- 96 Alan J.Dtolzer, John J.Goglia Safety Manegment Systems in Aviation. Taylor & Francis Group, 2015. – 375 с.
- 97 ATA MSG-3. Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development: revision 2003.1. - Air Transport Association of America, 2003. – 92 с.
- 98 Causal model for Air Transport Safety. Final report. NLR, Amsterdam, 2009.
- 99 Dhillon B.S. Human Reliability, Error, and Human Factors in Engineering Maintenance: with Reference to Aviation and Power Generation. Taylor & Francis Group, 2009. – 185 с.
- 100 Doc 9859 AN/474 – Doc FAA. Safety Management Manual (SMM), ICAO, Third Edition, 2013. – 251 с.
- 101 HUMS наступает [Электронный ресурс] (дата обращения: 15.10.2017) <https://www.aviaport.ru/news/2012/06/13/235904.html>
- 102 McCarthy J., Schwartz N. Modeling risk with the flight operation risk assessment system (FORAS). Conference ICAO in Rio de Janeiro, Brazil, 1999. – 8 с.
- 103 Robert Scott, «A new rotorcraft design framework based on reliability and cost», 2016, США
- 104 Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959 – 2016. Aviation Safety Boeing Commercial Airplanes [Электронный ресурс]http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf (дата обращения: 05.05.2018)

Приложения

Приложение А

Сравнительный анализ программного обеспечения для анализа надёжности и безопасности функционирования технических объектов

Опыт сертификации вертолётов Ми-38 и Ми-171А2 показал, что для эффективного применения программного обеспечения для расчета надёжности и анализа отказобезопасности оно должно отвечать ряду требований.

В ходе данного сравнительного анализа были рассмотрены следующие программные продукты:

- ПТК «ФАНАТ» – внутренняя разработка ПАО «Ил»;
- RAM Commander – разработка компании ALD (Израиль);
- MADe – разработка компании PHM Technologies или Technology (Австралия).

В таблице 2 в столбце 1 приведен перечень требований предъявляемых АО «МВЗ им.М.Л.Миля» к программному обеспечению для анализа надёжности и безопасности функционирования технических объектов (воздушного судна и его функциональных систем). В столбцах 3-6 приведены качественные оценки возможностей ПО и краткие комментарии.

Введем критерий оценки и обозначим его буквой *k*.

Таблица 1 – Критерий *k*

Оценка, <i>k</i>	Описание
+	Требуемый функционал реализован полностью
+/-	Требуемый функционал реализован частично
-	Требуемый функционал не реализован

Таблица 2 – Сравнение возможностей и функциональности ПО по критерию *k*

	Пункт требований	ФАНАТ	RAM Commander	MADe
1	Анализ отказобезопасности должен выполняться в соответствии с методиками, принятыми и рекомендованными АР МАК с учётом Р-4761 «Руководство по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования самолетов гражданской авиации»	+ (Реализовано)	+ (Реализовано)	- (Не реализовано, только стандарты США - MIL)
2	Интерфейс должен быть полностью на русском языке	+ (полностью на русском)	+ (полностью на русском)	+/- (переведена только часть)
3	Интерфейс должен быть удобен и понятен для пользователя	- (интерфейс морально устарел)	+ (удобный, систематизированный интерфейс)	+ (самый лучший интерфейс из представленных)
4	Руководство пользователя должно быть полностью на русском языке	+ (понятное, пошаговое руководство на русском языке)	+ (понятное, пошаговое руководство на русском языке)	- (руководство на английском языке)
5	Возможность оперативного выезда специалиста для оперативного устранения «багов», ошибок программного обеспечения	+ (специалист приезжал в течение двух суток после обнаружения проблемы)	+/- (не можем оценить данный момент, так как при тестировании проблем не возникло)	+/- (Требуется переводчик. Сложности в понимании сути вопросов т.к. разработчики ПО MADe не компетентны в вопросах надёжности)

	Пункт требований	ФАНАТ	RAM Commander	MADe
6	ПО должно содержать базу данных (БД) и иметь возможность формирования пользователем собственной базы данных по надежности агрегатов и изделий	+ (самый предпочтительный вариант, содержится база агрегатов, установленная на самолетах ИЛ, также без проблем можно вносить и свои данные в рабочем порядке)	+/- (нет базы данных с агрегатами установленными на вертолётах марки Ми, есть возможность вносить новые агрегаты)	- (нет базы данных с агрегатами, установленными на вертолётах марки Ми, редактировать базу данных нельзя)
7	ПО должно выполнять автоматизированное (А) и ручное (Р) построение деревьев неисправностей ФТА с возможностью перерасчета (П) дерева после внесения изменений,	А, Р, П (+) (Все реализовано, однако, после расчета, нужно редактировать для событий верхнего уровня)	А, Р, П (+/-) (Все реализовано, однако при автоматическом построении, дерево в итоге нужно частично редактировать, поменять операторы «или» на «и», в тех частях дерева, где это требуется)	А, П (-/+) (Не реализовано ручное построение дерева, что усложняет процесс доработки отчетов)
8	ПО должно автоматически формировать отчеты	+ (Из-за простоты программы разработчик в кратчайшие сроки может предоставить любую форму вывода нужных данных)	+ (Быстро формирует все нужные отчеты для сертификационных центров и даже больше)	+/- (Формируемый отчет по ФМЕСА не соответствует НТД и ни один сертификационный центр такие отчеты не принимает)
9	В расчетах отчетных документов (АВПО, ФТА и т.д.) должны отображаться значения расчетных величин	+ (Все реализовано)	+ (Все реализовано)	+/- (В блоках отказных состояний (ФТА) нет данных по расчетным величин (интенсивность отказов))

	Пункт требований	ФАНАТ	RAM Commander	MADe
10	ПО должно производить анализ систем, в состав которых входят вычислители со своим программным обеспечением (или имеющие логику работы). Например, система управления общевертолетным оборудованием (СУОВО-В1-1) на Ми-171А2	+ (Проводит анализ)	+ (Проводит анализ)	- (Нет такой возможности)
11	ПО должно содержать функционал, предназначенный для формирования Перечня минимального оборудования (ТМПО/ТПДО/ММЕЛ) и его обоснования	- (Не реализовано)	+ (Данная функция реализована, можно составить перечень кандидатов в ТМПО/ТПДО/ММЕЛ, а далее вывести данный отчет)	- (Не реализовано)
12	ПО должно содержать модуль расчета жгутов электропроводки и соединителей (расчет кабелей проводов и соединителей). (Расчет на соответствие п.25.1709)	- (Не реализовано)	- (Не реализовано)	- (Не реализовано)
13	ПО должно иметь конструктор отчетов, отчеты должны выгружаться в формат MS Word, Excel и Adobe Reader (.pdf), с возможностью редактирования выгруженного отчета	+ (Результаты расчетов копируются в буфер – можно вставить в любой редактор. Из-за простоты программы разработчик в кратчайшие сроки может предоставить любую форму вывода нужных данных, есть возможность редактирования)	+ (Есть возможность вывести данные в любом из представленных форматов, с возможностью редактирования)	- (Вывод осуществляется в pdf, который защищен от редактирования)

	Пункт требований	ФАНАТ	RAM Commander	MADe
14	Возможность проведения оценки функциональных опасностей (Functional Hazard Assessment – FHA)	- (Нет возможности проведения такой оценки)	+ (Есть возможность проведения данной оценки)	- (Нет возможности проведения такой оценки)
15	Возможность проведения предварительной оценки безопасности системы (Preliminary System Safety Assessment – PSSA)	+ (Есть возможность проведения данной оценки)	+ (Есть возможность проведения данной оценки)	+/- (Есть возможность проведения данной оценки только в формате деревьев отказов)
16	Возможность расчета по временным интервалам (по этапам полёта)	+ (Реализовано)	+ (Реализовано)	+ (Реализовано)
17	ПО должно выявлять, что вероятность отказного состояния элемента соответствует особой ситуации	- (Не выявляет)	+ (Отказы, которые не проходят требования, подсвечиваются красным)	- (Не выявляет)
18	Расчеты должны производиться в интенсивностях отказов $\lambda(t)$ (Интенсивность отказов численно равна числу отказов в единицу времени, отнесенное к числу узлов, безотказно проработавших до этого времени)	+ (Реализовано)	+ (Реализовано)	+/- (Реализовано, но расчет деревьев производится в вероятностях события $P(f)$, что совершенно неудобно)
19	Возможность проведения оценки безопасности системы (System Safety Assessment – SSA), а именно:			
	1. Перечень одобренных ранее вероятностей отказных состояний;	+ (Есть возможность вывести данный перечень)	+ (Есть возможность вывести данный перечень)	+ (Есть возможность вывести данный перечень)

	Пункт требований	ФАНАТ	RAM Commander	MADe
	2. Описание системы;	- (Не реализовано, есть возможность редактирования)	+ (Есть возможность внести описание системы)	- (Не реализовано, невозможно добавить в итоговый документ и так как нет возможности редактирования итоговых отчётов)
	3. Перечень отказных состояний (FHA, PSSA);	+ (Есть возможность вывести данный перечень)	+ (Есть возможность вывести данный перечень)	- (Нет возможности вывести данный перечень)
	4. Классификацию отказных состояний (FHA, PSSA);	+ (Есть возможность вывести данный перечень)	+ (Есть возможность вывести данный перечень)	- (Нет возможности, вдобавок есть ошибка - MADe вне зависимости от заданной критичности постоянно выводит только одну катастрофическую ситуацию)
	5. Внесение действий по парированию отказов;	+ (Реализовано)	+ (Реализовано)	- (Не реализовано)
	6. Определения влияния отказа на завершение полёта;	+ (Реализовано)	+ (Реализовано)	- (Не реализовано)
	7. Внесение информации экипажу об отказе;	+ (Реализовано)	+ (Реализовано)	- (Не реализовано)
	8. Качественный анализ отказных состояний (FTA, DD, MA);	+/- (Реализовано только FTA)	+ (Реализовано все)	+/- (Реализовано только FTA и DD)

	Пункт требований	ФАНАТ	RAM Commander	MADe
	9. Количественный анализ отказных состояний (FTA, DD, MA, FMES);	+/- (Реализовано только FTA)	+ (Реализовано все)	+/- (Реализовано только FTA и DD)
	10. Анализ общих причин отказов (CCA);	- (не реализовано)	- (нужно приобретать отдельный дополнительный модуль Safety Commander)	- (не реализовано)
	11. Уровни гарантии разработки для аппаратных и программных средств (PSSA);	+/- (есть возможность «подризовать» в дереве отказов)	+ (реализовано)	- (не реализовано)
20	Интеграция с TeamCenter	- (На данный момент нет возможности интеграции)	+/- (разработчик заверяет, что возможна)	+ (разработчик предоставил возможность интеграции)
21	Использование ПО при сертификации на территории РФ	+	+	-
	ИТОГО:	«+» - 17 шт. «+/-» - 3 шт. «-» - 8 шт.	«+» - 22 шт. «+/-» - 4 шт. «-» - 2шт.	«+» - 4 шт. «+/-» - 9 шт. «-» - 15 шт.

Исходя из простого сравнения, получаем, что ПТК ФАНАТ и RAM Commander явно предпочтительнее MADe. Для более точного сравнения ПО применим инструментарий «Многокритериального принятия решения».

Оценка альтернатив методом SMART.

Приведем качественную оценку k из таблицы 1 в количественную. Для этого назначим следующую шкалу и введем обозначение n .

Таблица 3 – Критерий n

Количественная оценка, n	Качественная оценка, k	Описание
10	+	Требуемый функционал реализован полностью
5	+/-	Требуемый функционал реализован частично
1	-	Требуемый функционал не реализован

Таблица 4 – Оценка функций ПО по критерию n

	Пункт требований	ФАНАТ	RAM Commander	MADe
1	Заложенные руководящие документы и методики должны соответствовать международным стандартам	10	10	1
2	Интерфейс должен быть полностью на русском языке	10	10	5
3	Интерфейс должен быть удобен	1	10	10
4	Руководство пользователя должно быть полностью на русском языке	10	10	1
5	Возможность оперативного выезда специалиста для оперативного устранения «багов», ошибок программного обеспечения	10	5	5
6	ПО должно содержать базу данных (БД) и иметь возможность формирования пользователем собственной базы данных по надежности агрегатов и изделий	10	5	1

	Пункт требований	ФАНАТ	RAM Commander	MADe
7	ПО должно выполнять автоматизированное (А) и ручное (Р) построение деревьев неисправностей ФТА с возможностью перерасчета (П) дерева после внесения изменений	10	5	5
8	ПО должно автоматически формировать отчеты	10	10	5
9	В расчетах отчетных документов (АВПО, ФТА и т.д.) должны быть показаны расчетные величины	10	10	5
10	ПО должно производить анализ систем, в состав которых входят вычислители со своим программным обеспечением (или имеющие логику работы)	10	10	1
11	ПО должно содержать функционал, предназначенный для формирования Перечня минимального оборудования (ТМПО/ТПДО/ММЕЛ) и его обоснования	1	10	1
12	ПО должно содержать модуль расчета жгутов электропроводки и соединителей (расчет кабелей проводов и соединителей). (Расчет на соответствие п.25.1709)	1	1	1
13	ПО должно иметь конструктор отчетов, отчеты должны выгружаться в формат MS Word, Excel и Adobe Reader (.pdf), с возможностью редактирования выгруженного отчета	10	10	1
14	Возможность проведения оценки функциональных опасностей (Functional Hazard Assessment – ФНА)	1	10	1
15	Возможность проведения предварительной оценки безопасности системы (Preliminary System Safety Assessment – PSSA)	10	10	5
16	Возможность расчета по временным интервалам	10	10	10
17	Программа сама показывает несоответствие последствия отказных состояний в зависимости от величины вероятности	1	10	1
18	Расчеты должны производиться в интенсивностях отказов $\lambda(t)$ (Интенсивность отказов численно равна числу отказов в единицу времени, отнесенное к числу узлов, безотказно проработавших до этого времени)	10	10	5

	Пункт требований	ФАНАТ	RAM Commander	MADe
19	Возможность проведения оценку безопасности системы (System Safety Assessment – SSA), а именно:			
	1. Перечень одобренных ранее вероятностей отказных состояний;	10	10	10
	2. Описание системы;	1	10	1
	3. Перечень отказных состояний (FHA, PSSA);	10	10	1
	4. Классификацию отказных состояний (FHA, PSSA);	10	10	1
	5. Качественный анализ отказных состояний (FTA, DD, MA);	5	10	5
	6. Количественный анализ отказных состояний (FTA, DD, MA, FMES);	5	10	5
	7. Анализ общих причин отказов (CCA);	1	1	1
	8. Уровни гарантии разработки для аппаратных и программных средств (PSSA);	5	10	1
20	Интеграция с TeamCenter	1	5	10
21	Использование ПО при сертификации на территории РФ	10	10	1
	ИТОГО:	193	242	100

Далее, оценим значимость каждого пункта и рассчитаем его вес λ_i . Для этого назовем следующую шкалу и введем обозначение z .

Таблица 4 – Критерий z

Оценка значимости, z	Описание значимости
10	Очень важно
8	Важно
6	Желательно
4	Незначительно
2	Неважно

Для большей объективности, значимость оценивается экспертным путем группой компетентных специалистов.

Столбец 3 таблицы 5 заполняется экспертными оценками критериев значимости z пункта требований i .

Далее производится количественный расчет значимости Z_i и веса λ_i каждого пункта требования по формулам (1) и (2) соответственно. Расчетные значения каждого коэффициента вводятся в столбцы 4-11 таблицы 3.

$$Z_i = n \times z \quad (1)$$

$$\lambda_i = \frac{Z_i}{Z_\Sigma} \quad (2)$$

$$Z_\Sigma = \sum Z_i \quad (3)$$

Таблица 5 – Оценка значимости z и веса λ_i требований к ПО

	Пункт требований	Значимость, z	ФАНАТ		RAM Commander		MADe	
			Z_i	λ_i	Z_i	λ_i	Z_i	λ_i
1	Заложенные руководящие документы и методики должны соответствовать международным стандартам	(10)	100	0,06535948	100	0,05630631	10	0,0131234
2	Интерфейс должен быть полностью на русском языке	(10)	100	0,06535948	100	0,01689189	50	0,0656168
3	Интерфейс должен быть удобен	(6)	6	0,00392157	60	0,02815315	60	0,0787402
4	Руководство пользователя должно быть полностью на русском языке	(10)	100	0,06535948	100	0,02252252	10	0,0131234
5	Возможность оперативного выезда специалиста для оперативного устранения «багов», ошибок программного обеспечения	(6)	60	0,03921569	30	0,05630631	30	0,0393701
6	ПО должно содержать базу данных (БД) и иметь возможность формирования пользователем собственной базы данных по надежности агрегатов и изделий	(10)	100	0,06535948	50	0,04504505	10	0,0131234
7	ПО должно выполнять автоматизированное (А) и ручное (Р) построение деревьев неисправностей ФТА с возможностью перерасчета (П) дерева после внесения изменений	(8)	80	0,05228758	40	0,04504505	40	0,0524934
8	ПО должно автоматически формировать отчеты	(10)	100	0,06535948	100	0,02252252	100	0,1312336
9	В расчетах отчетных документов (АВПО, ФТА и т.д.) должны быть показаны расчетные величины	(8)	80	0,05228758	80	0,00112613	40	0,0524934
10	ПО должно производить анализ систем, в состав которых входят вычислители со своим программным обеспечением (или имеющие логику работы)	(8)	80	0,05228758	80	0,04504505	8	0,0104987
11	ПО должно содержать функционал, предназначенный для формирования Перечня минимального оборудования (ТМПО/ТПДО/ММЕЛ) и его обоснования	(4)	4	0,00261438	40	0,04504505	4	0,0052493

	Пункт требований	Значимость, z	ФАНАТ		RAM Commander		MADe	
			Z _i	λ _i	Z _i	λ _i	Z _i	λ _i
12	ПО должно содержать модуль расчета жгутов электропроводки и соединителей (расчет кабелей проводов и соединителей). (Расчет на соответствие п.25.1709)	(2)	2	0,00130719	2	0,04504505	2	0,0026247
13	ПО должно иметь конструктор отчетов, отчеты должны выгружаться в формат MS Word, Excel и Adobe Reader (.pdf), с возможностью редактирования выгруженного отчета	(8)	80	0,05228758	80	0,04504505	8	0,0104987
14	Возможность проведения оценки функциональных опасностей (Functional Hazard Assessment – FHA)	(8)	8	0,00522876	80	0,03378378	8	0,0104987
15	Возможность проведения предварительной оценки безопасности системы (Preliminary System Safety Assessment – PSSA)	(8)	80	0,05228758	80	0,04504505	40	0,0524934
16	Возможность расчета по временным интервалам	(8)	80	0,05228758	80	0,03378378	80	0,1049869
17	Программа сама показывает несоответствие последствия отказных состояний в зависимости от величины вероятности	(6)	6	0,00392157	60	0,02252252	6	0,007874
18	Расчеты должны производиться в интенсивностях отказов λ(t) (Интенсивность отказов численно равна числу отказов в единицу времени, отнесенное к числу узлов, безотказно проработавших до этого времени)	(8)	80	0,05228758	80	0,03378378	40	0,0524934
19	Возможность проведения оценку безопасности системы (System Safety Assessment – SSA), а именно:							
	1. Перечень одобренных ранее вероятностей отказных состояний;	(6)	60	0,03921569	60	0,03378378	60	0,0787402
	2. Описание системы;	(4)	4	0,00261438	40	0,02252252	4	0,0052493
	3. Перечень отказных состояний (FHA, PSSA);	(6)	60	0,03921569	60	0,04504505	6	0,007874
	4. Классификацию отказных состояний (FHA, PSSA);	(6)	60	0,03921569	60	0,00225225	6	0,007874
	5. Качественный анализ отказных состояний (FTA, DD, MA);	(4)	20	0,0130719	40	0,03378378	20	0,0262467

	Пункт требований	Значимость, z	ФАНАТ		RAM Commander		MADe	
			Z _i	λ _i	Z _i	λ _i	Z _i	λ _i
	6. Количественный анализ отказных состояний (FTA, DD, MA, FMES);	(8)	40	0,02614379	80	0,01689189	40	0,0524934
	7. Анализ общих причин отказов (ССА);	(4)	4	0,00261438	4	0,05630631	4	0,0052493
	8. Уровни гарантии разработки для аппаратных и программных средств (PSSA);	(6)	30	0,01960784	60	0,05630631	6	0,007874
20	Интеграция с TeamCenter	(6)	6	0,00392157	30	0,01689189	60	0,0787402
21	Использование ПО при сертификации на территории РФ	(10)	100	0,06535948	100	0,02815315	10	0,0131234
	ИТОГО:		1530	1	1776	1	762	1

Определена общая (взвешенная) оценка каждой альтернативы с использованием формулы взвешенной суммы баллов:

$$U_j = \sum_{i=1}^n \lambda_i U_{ij}$$

где $n=28$ – число критериев;

U_j – общая (взвешенная) оценка j -ой альтернативы по всем 28 критериям;

λ_i – вес i -го критерия (см. таблицу 3);

U_{ij} – оценка j -ой альтернативы по i -му критерию.

Программное обеспечение	Общая (взвешенная) оценка
ФАНАТ	79,95
RAM Commander	75,18
MADe	52,21

Исходя из приведённого экспертного (критериального) анализа, можно заявить, что предпочтительным продуктом является ПО ФАНАТ, несколько ему проигрывает RAM Commander. ПО MADe является наименее полезным, так как большинство его функций не соответствуют предъявляемым требованиям.

Оценка альтернатив методом выбора по близости к идеальной точке.

Для оценки альтернатив в качестве эталонного критерия используются значения значимости z из столбца 3 таблицы 3. Данный ряд значений характеризует координаты «идеальной точки».

«Идеальная точка» имеет следующие координаты: (100;100;60;100;60;100;80;100;80;80;40;20;80;80;80;80;60;80;60;40;60;60;40;80;40;60;60;100). Решение должно обеспечивать наибольшее приближение к множеству одновременно недостижимых целей. Определим близость координат каждой альтернативы к «идеальной точке» (чем меньше, тем лучше):

$$\begin{aligned} \text{ФАНАТ:} \quad & \sqrt{(100-100)^2+(100-100)^2+(60-6)^2+(100-100)^2+(60-60)^2+(100-100)^2+} \\ & +(80-80)^2+(100-100)^2+(80-80)^2+(80-80)^2+(40-4)^2+(2-2)^2+(80-80)^2+(80-8)^2+(80-80)^2 \\ & +(80-80)^2+(60-6)^2+(80-80)^2+(60-60)^2+(40-4)^2+(60-60)^2+(60-60)^2+(40-40)^2+(80-80)^2 \\ & +(4-4)^2+(60-60)^2+(60-6)^2+(100-100)^2=145,065 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RAM Commander:} \quad & \sqrt{(100-100)^2+(100-100)^2+(60-60)^2+(100-100)^2+(60-} \\ & 30)^2+(100-100)^2+(80-80)^2+(100-100)^2+(80-80)^2+(80-80)^2+(40-40)^2+(2-2)^2+(80-80)^2 \\ & +(80-8)^2+(80-80)^2+(80-80)^2+(60-60)^2+(80-80)^2+(60-60)^2+(40-40)^2+(60-60)^2+(60-60)^2 \\ & +(40-40)^2+(80-80)^2+(4-4)^2+(60-60)^2+(60-60)^2+(100-100)^2=86,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{МАДе:} \quad & \sqrt{(100-10)^2+(100-50)^2+(60-60)^2+(100-10)^2+(60-6)^2+(100-10)^2+(80-} \\ & 40)^2+(100-100)^2+(80-40)^2+(80-8)^2+(40-4)^2+(2-2)^2+(80-8)^2+(80-8)^2+(80-80)^2+(80-80)^2 \\ & +(60-6)^2+(80-40)^2+(60-6)^2+(40-40)^2+(60-6)^2+(60-6)^2+(40-40)^2+(80-40)^2+(4-4)^2+(60-} \\ & 6)^2+(60-60)^2+(100-100)^2=275 \end{aligned}$$

Исходя из оценки альтернатив методом выбора по близости к идеальной точке можно сделать вывод, что лучшим продуктом является RAM Commander, на втором месте находится ПО ФАНАТ. ПО МАДе является наименее предпочтительным, так как большинство его функций не соответствуют требованиям.

Оценка объекта «ПО» методом порогового агрегирования

Запишем значения оценок альтернатив по каждому критерию в виде координат векторов, соответствующих каждому из пяти имеющихся альтернатив:

ФАНАТ:

$$X=(100,100,6,100,60,100,80,100,80,80,4,2,80,8,80,80,6,80,60,4,60,60,20,40,4,30,6,100)$$

RAMCommaner:

$$Y=(100,100,60,100,30,50,40,100,80,80,40,2,80,80,80,80,60,80,60,40,60,60,40,80,4,60,30,100)$$

МАДе:

$$Z=(10,50,60,10,30,10,40,100,40,8,4,2,8,8,40,80,6,40,60,4,6,6,20,40,4,6,60,10)$$

Затем произведем сравнение компонент векторов, начиная с нижнего значения (в данном случае оно равно 2), при условии:

$n_2(X)$ – число компонент вектора X , равных 2;

$n_2(Y)$ – число компонент вектора Y , равных 2;

$n_2(Z)$ – число компонент вектора Z , равных 2;

$X > Y$ (X лучше Y), если $n_2(X) < n_2(Y)$, аналогичные сравнения проводим для остальных векторов по значению 2. В случае, если $n_2(X) = n_2(Y)$ (к примеру), то дальнейшее сравнение производится по следующему значению (по возрастанию).

$n_2(X) = n_2(Y) = n_2(Z)$

$n_4(X) > n_4(Y)$, следовательно $Y > X$, Y лучше X

$n_4(Y) < n_4(Z)$, следовательно $Y > Z$, Y лучше Z

Исходя из проведённых оценок с использованием трёх методик оценки альтернатив, изложенных выше, делаются выводы:

1. Программное обеспечение MADe не отвечает большинству предъявляемых требований;

2. Программное обеспечение ФАНАТ и RAM Commander наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым авиационными властями РФ (сертификационными центрами) к анализу отказобезопасности;

3. В совокупности всех трех оценочных методов наилучшим является программное обеспечение RAM Commander.