

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

На правах рукописи



Нурушев Ермек Тургалиевич

МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ
ПРОЦЕССОВ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

05.02.22 – Организация производства
(радиоэлектроника и приборостроение)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Коршунов Г.И.

Санкт-Петербург – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава I. ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА АВИАРЕМОНТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ	11
1.1. Обзор текущей ситуации в области ремонта легких воздушных судов	11
1.2 Анализ процесса ремонта авиационной техники в рамках теории ограничений	18
1.3 Влияние существующих методов и инструментов комплексного подхода в решении задач повышения результативности производственного процесса ремонта ВС	30
1.4 Критерии повышения результативности производственного процесса ремонта на авиаремонтном заводе	36
1.5 Выводы по главе 1	48
ГЛАВА 2. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ РИСКА МОДИФИКАЦИЕЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ	49
2.1. Классификация рисков и повышение точности оценки показателей числа риска	49
2.2. Совершенствование метода анализа видов и последствий отказов на основе карт Шухарта	54
2.3. Применение статистических критериев для улучшения эффективности методов оценки рисков на основе критериев Граббса	57
2.4. Повышение точности оценки риска экспертных решений геометрическим методом	60
2.5. Риск-ориентированное решение задач в условиях неопределенности объектов ремонта с учетом оценки стоимости затрат	71
2.6 Выводы по главе 2	75

ГЛАВА 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА ПО ОСНОВНЫМ КРИТЕРИЯМ	76
3.1. Декомпозиция производственного процесса ремонта воздушного судна и представление вероятности перехода на основе модели состояний	76
3.2. Совершенствование процесса ремонта на основе сокращения времени производственного цикла	83
3.3. Повышение качества ремонта авиационной техники на основе оценки достоверности показателей контроля	88
3.4. Система оценки состояния контролируемого параметра аппаратуры на основе нечеткой логики	93
3.5. Нечеткая система контроля состояния бортовой радиоэлектронной аппаратуры	103
3.6 Выводы по главе 3	109
Глава 4. СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЛЕГКИХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ	110
4.1. Математическая модель прогнозирования перспективной производственной загрузки	110
4.2. Структура системы удаленного мониторинга параметров бортовой аппаратуры легких воздушных судов	121
4.3. Методика оценки эффективности инновационных решений в производственных процессах	129
4.4. Методика оценки состояния и улучшений организации процессов ремонта на АРЗ	137
4.5 Выводы по главе 4	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	148
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	151
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	152

ПРИЛОЖЕНИЕ 1	168
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	169
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	170
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	174
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	175
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	176
ПРИЛОЖЕНИЕ 7	177

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Поддержание летной годности бортового оборудования легких воздушных судов (ВС) осуществляется благодаря производственной деятельности авиаремонтных предприятий, необходимость в выполнении ремонта обоснована требованиями стандартов в Приложении 8 к Конвенции о международной гражданской авиации.

В условиях сформировавшегося рынка услуг ремонта ЛВС, главными факторами являются качество ремонта и эффективность организации производственного процесса, что обеспечивается при соблюдении требований стандартов ISO и ГОСТ Р ИСО 9000-2015, которые совместили в себе принципы TQM для обеспечения устойчивого развития. Соблюдение требований стандартов качества не в полной мере обеспечивает эффективную производственную деятельность авиаремонтного завода в условиях влияния меняющихся внешних и внутренних факторов в случае отсутствия инструментов оценки ситуации и управления. С этой целью для повышения результативности процесса ремонта воздушных судов следует рассмотреть возможность применения более широкого ряда методов для совершенствования организации ремонта. Несмотря на устоявшийся рынок услуг, авиаремонтные заводы испытывают влияние как внешних так и внутренних рисков и при руководстве и применении стандартов серии ISO 31010-2019 предприятия имеют традиционные инструменты оценки степени влияния существующих угроз. Модификация инструментов оценки рисков, при возможных расхождениях значений, позволит более точно оценивать встречающиеся угрозы. Совершенствование инструментов диагностики усиленные методами прогнозирования состояния радиоэлектронной аппаратуры, могли бы повысить степень безопасности полета воздушного

судна в части навигации, авиационной коммуникации и удаленного сопровождения.

Актуальность темы диссертационного исследования, обосновывается необходимостью поиска новых подходов для повышения результативности деятельности авиаремонтных заводов, что также отражается и в законодательных актах Российской Федерации. Необходимость повышения результативности и эффективности производства согласуется с приказом Минпромторга России от 20 июня 2017 года № 1907 «Об утверждении Рекомендаций по применению принципов бережливого производства в различных отраслях промышленности», а также Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности»» что нацеливает на создание в стране конкурентоспособной, устойчивой, эффективно выстроенной структуре предприятий. Задачей этих документов является, целеуказание на эффективное саморазвитие на основе интеграции в мировую технологическую среду, разработки и применения передовых промышленных технологий, обеспечивающих повышение производительности труда, нацеленных на формирование и освоение новых рынков инновационной продукции, эффективно решающей задачи обеспечения экономического развития страны.

Степень научной разработанности темы:

- по вопросам управления качеством промышленной продукции явились труды зарубежных исследователей К. Исикавы, Ф. Кросби, А.Фейгенбаума, У. Шухарта, Д. Коудена, Х.Й.Миттага и отечественных авторов Ю.А. Антохиной, А.Г. Варжапетяна, Е.Г. Семеновой, Г.И. Коршунова, А.А.Оводенко, В.А. Липатникова, В.В. Окрепилова, Ю.П. Адлера, А.М. Бендерского и др.;

- в вопросах организации и управления производством были работы зарубежных авторов Ф. Тэйлора, Э. Дэйминга, М. Портера, Э. Голдрата и

отечественных ученых Л.И. Гамкрелидзе, Б.Ю. Сербиновского, М.И. Бухалкова, Н.Л. Зайцева, и других;

- вопросы мониторинга производственно-технических процессов и воздушных судов рассматривались в трудах зарубежных исследователей WillamH. Woodal, K.K.Nicolisi отечественных ученых А.П.Науменко, Н.А. Махутова, и многих других.

- вопросы применения нечеткой логики и оценке состояния технических устройств и авиационных систем рассматривались в трудах зарубежных авторов Л.Заде, А. Пегата, Е.Н. Мамдани, Ж. А. Даева, JosefinaJanier, Reayd Abdel-Fadil и отечественных ученых В. Чернова, А.С. Коновалова, П.Е Шумилова и многих других.

- по вопросам методологии экспертной оценки У. Инмон, Л. Фридман, М. Basili, L. Pratelli, Colin B. Brown, Tobias Krueger и другие.

Цель диссертационного исследования - повышение результативности процесса ремонта радиоэлектронной аппаратуры легких воздушных судов на основе разработки моделей и методик.

Исходя из сформулированной цели, в работе были поставлены и решены следующие **научные задачи**:

1. Выполнить модификацию существующей методики оценки рисков диагностики РЭА с целью повышения точности экспертных решений;
2. Разработать модель сокращения длительности процесса ремонта РЭА на авиаремонтном заводе;
3. Разработать методику оценки состояния РЭА легких ВС, как инструмент поддержки решения;
4. Разработать модель прогнозирования перспективной производственной нагрузки для авиаремонтного завода;
5. Разработать структуру системы удаленной технической диагностики состояния радиоэлектронной аппаратуры легких воздушных судов.

Предмет исследования – совокупность моделей и методик диагностики и ремонта авиационной и радиоэлектронной аппаратуры легких ВС.

Объект исследования: процесс ремонта легких воздушных судов на авиаремонтном заводе.

На защиту выносятся следующие результаты исследования:

1. Модифицированная методика повышения точности оценки рисков диагностики РЭА на основе применения метода Граббса и геометрической оценки.
2. Разработана математическая модель сокращения длительности процесса ремонта РЭА методом уменьшения временных потерь.
3. Разработана методика оценки состояния авиационной и радиоэлектронной аппаратуры методом нечеткой логики.
4. Разработана математическая модель прогнозирования перспективной производственной нагрузки авиаремонтного завода на основе метода экспоненциального сглаживания.
5. Предложена структура системы удаленной технической диагностики состояния РЭА легких ВС.

Научной новизной обладают следующие результаты исследования:

1. Модифицированная методика повышения точности оценки рисков диагностики РЭА отличающаяся от известных применением метода Граббса и геометрической оценки.
2. Предложена математическая модель сокращения длительности процесса ремонта РЭА методом уменьшения временных потерь и отличающаяся от известных, применением принципа оптимальности на основе теории ограничения.
3. Методика оценки состояния авиационной и радиоэлектронной аппаратуры отличающаяся от известных применением метода нечеткой логики.
4. Математическая модель прогнозирования перспективной производственной нагрузки авиаремонтного завода отличающаяся от известных применением метода экспоненциального сглаживания.

5. Структура системы удаленной технической диагностики состояния воздушного судна, отличающаяся от существующих применением систем удаленного доступа и передачи данных.

Практической значимостью обладают:

1. Математическая модель сокращения длительности процесса ремонта РЭА методом уменьшения временных потерь и отличающаяся от известных, применением принципа оптимальности на основе теории ограничения.

2. Внедрение методики повышения точности оценки рисков диагностики РЭА, отличающейся от известных применением метода Граббса и геометрической.

3. Внедрение методики оценки состояния авиационной и радиоэлектронной аппаратуры отличающаяся от известных применением метода нечеткой логики.

4. Внедрение математической модели прогнозирования перспективной производственной нагрузки авиаремонтного завода отличающейся от известных применением метода экспоненциального сглаживания.

5. Предложенная структура системы удаленной технической диагностики состояния воздушного судна, отличающаяся от существующих применением систем удаленного доступа и передачи.

По результатам предложенных решений:

- длительность подготовительного этапа (приемка) сократилась от 1.1 до 1,6 раза и на остальных этапах в целом до 3,2%;
- уменьшился объем комплектующих запасных частей на складе до 9,3%;
- сократилось время привлечения производственного персонала до 4,1%;
- до 2,1 раза сократилось время принятия решения на планирование и подготовку производства.

Общая результативность, достигнутая на основе разработанных методик и моделей в применении к поставленной задаче составила 58,75 %.

Апробация научно-исследовательских результатов: результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- научно-практической конференции «Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сборник докладов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения 7-14 апреля 2016 года;
- I Международной научно-практической конференции «Мехатроника, автоматика и робототехника» 02.03.2017 года, Новокузнецк;
- I Международной научно-практической конференции «Технология машиностроения и материаловедение» 20.04.2017 года, Новокузнецк;
- Всероссийской научно-практической конференции «Компьютерная интеграция и ИПИ-технологии» в 2017 году в Оренбургском государственном университете;
- International Scientific Conference "Applied Physics, Information and Engineering Technologies - APITECH-2019" in September 25-27, 2019 in Krasnoyarsk;
- International Scientific Conference "ICMSIT-2020: Metrological Support of Innovative Technologies" 4 March 2020 Saint Petersburg- Krasnoyarsk, Russia.

Публикации: по результатам исследований, выполненных в диссертации опубликовано **17** статей из них **11** в ведущих рецензируемых научных изданиях и **2** в международной базе журналов Scopus.

Глава I. ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА АВИАРЕМОНТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

1.1 Обзор текущей ситуации в области ремонта легких воздушных судов

Безопасность полетов, является краеугольной задачей для всех участников деле обеспечения и регулируется различными правовыми документами [1,2,13,96] включая и основополагающие принципы, изложенные в приложениях ИКАО [6-9,117,118]. Отдельные темы этой области, рассмотрены зарубежными исследователями [120,125,128,135,141,144,155]. Для поддержания летной годности (ЛГ) воздушных судов (ВС) и обеспечения безопасности полетов предусмотрены различные стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Поддержание ЛГ осуществляется как в период эксплуатации инженерно-техническим составом (ИТС) авиакомпаний (АК), так и благодаря системе капитальных ремонтов осуществляемых по истечении сроков, установленных заводом изготовителем. Существующие системы и порядок ремонта оборудования ВС описаны в [87,57] и включают в себя следующие виды: капитальные, регламентированные, по техническому состоянию и по уровню надежности.

В сложившейся практике, эксплуатанты стремятся перейти на новые принципы поддержания ЛГ ВС. Если ранее традиционным был принцип эксплуатации по календарному исчислению, то актуальным на настоящий момент является поддержание летной годности по состоянию воздушных судов. Это обеспечивает экономическую эффективность, но в то же время, требует системного мониторинга и учета возможных рисков отказа и повреждения ВС и бортовой аппаратуры. Исследованию вопросов

эффективности эксплуатации и ремонта ВС, продолжает уделяться широкое внимание [58,59]. При этом рассматривались различные аспекты данного направления, от оценки соответствия систем требованиям норм летной годности, до поиска путей повышения эффективности технического обслуживания и ремонта ВС в современных условиях. В зарубежных изданиях, предлагаются различные решения по повышению эффективности в авиационной отрасли, от применения искусственного интеллекта в управлении производством [119], эффективного управления запасами [129], до влияния степени качества технического обслуживания ВС на общие затраты [137]. В работе [117] выполнен сравнительный анализ между методологией Руководства по обслуживанию ВС (Maintenance steering group MSG-3) и другими вариантами системы централизованного обслуживания (Reliability-centred maintenance - RCM) с целью совершенствования Руководства (MSG-3), в рамках систем технического обслуживания. Установлено, что методология позволяет рассматривать предполагаемые последствия отказов, для оценки риска.

Другое существующее решение по повышению результативности предприятия представлено в виде передачи отдельных видов технического обслуживания другим операторам (аутсорсинг), с целью снижения стоимости затрат и повышения качества [146]. Большой интерес представляет работа [145], где управление технологическим процессом любого типа можно представить в виде системы с обратной связью, обеспечивающей коррекцию и поддержание заданных критериев на выходе процесса.

Если обратиться к текущей ситуации, то в связи со множеством экономических и организационных сложностей, образовавшихся после обретения независимости странами СНГ, произошел сбой организованного и планового поступления ВС в ремонт [77]. Существующие авиаремонтные заводы оказались в сложной ситуации. Это отразилось на сокращении объемов выполняемых работ и ритмичности производственных процессов, снижении финансовой устойчивости и конкурентоспособности предприятий.

Необходимо отметить, что с переходом на рыночную экономику и либерализацией законодательства по отношению к праву владения, образовалось большое множество авиакомпаний, имеющие небольшой парк ВС, но не имеющих в своем распоряжении необходимую инфраструктуру и ресурсы (авиационно-техническую базу для поддержания летной годности, обученного и подготовленного технического персонала, и др. специалистов). Все это приводит к снижению качества поподдержанию ЛГ ВС и соответственно безопасности полетов, создава предпосылки к инцидентам и катастрофам, котрые отражает статистика на (рис 1,2).

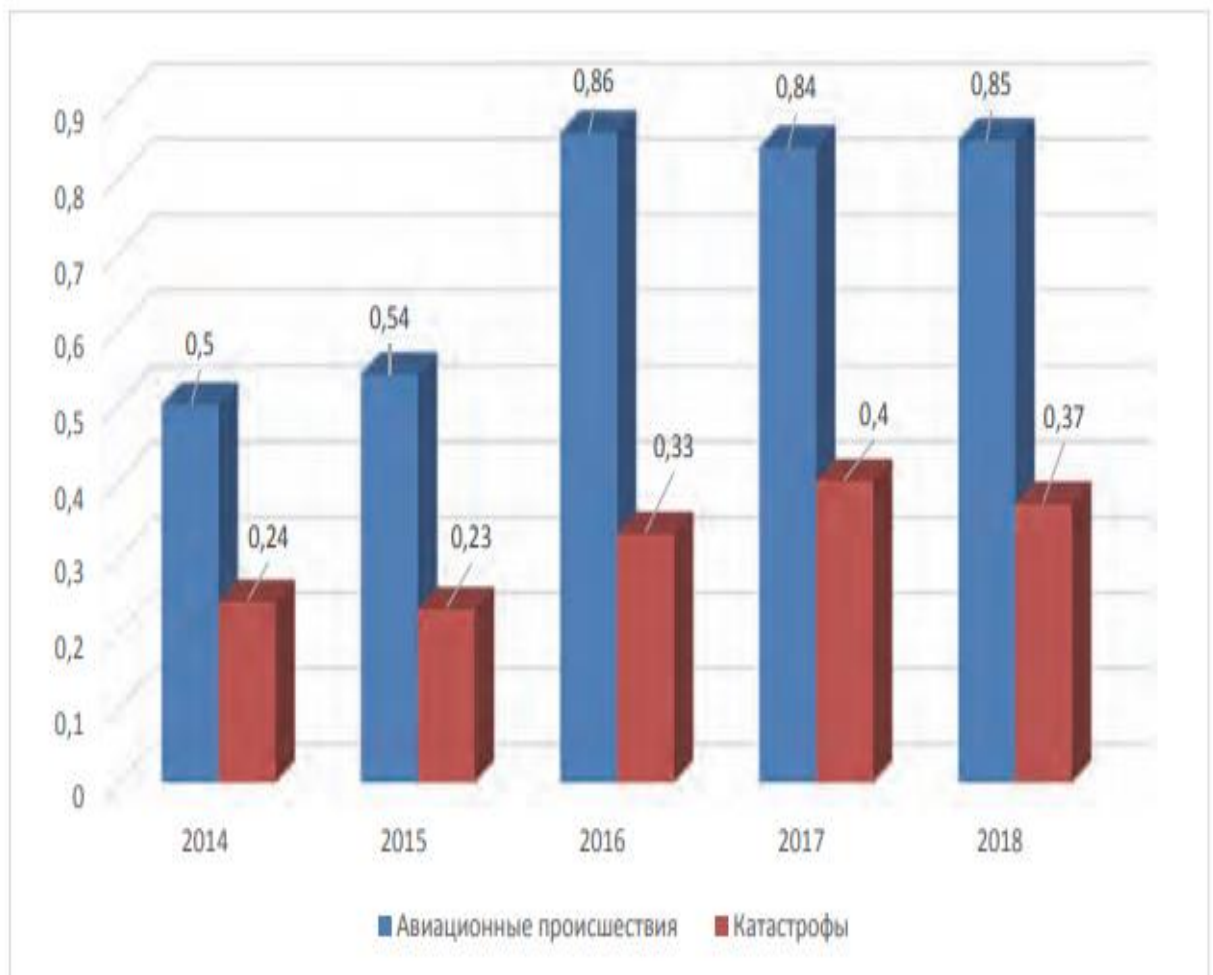


Рисунок 1 – Статистика авиационных происшествий и катастроф на 100 тыс. часов налета на всех ВС в ГА государств-участников Соглашения без Авиации общего назначения (АОН)

При переходе на эксплуатацию по состоянию ВС, эксплуатант АТ сам принимает решение о дате начала ремонта. В этом случае нарушается плановость организованного процесса на авиаремонтном заводе (АРЗ). АРЗ вынуждены осуществлять поиск новых методов по обеспечению результативности и конкурентоспособности производства в условиях высокой неопределенности рынка и технического состояния поступающей АТ.

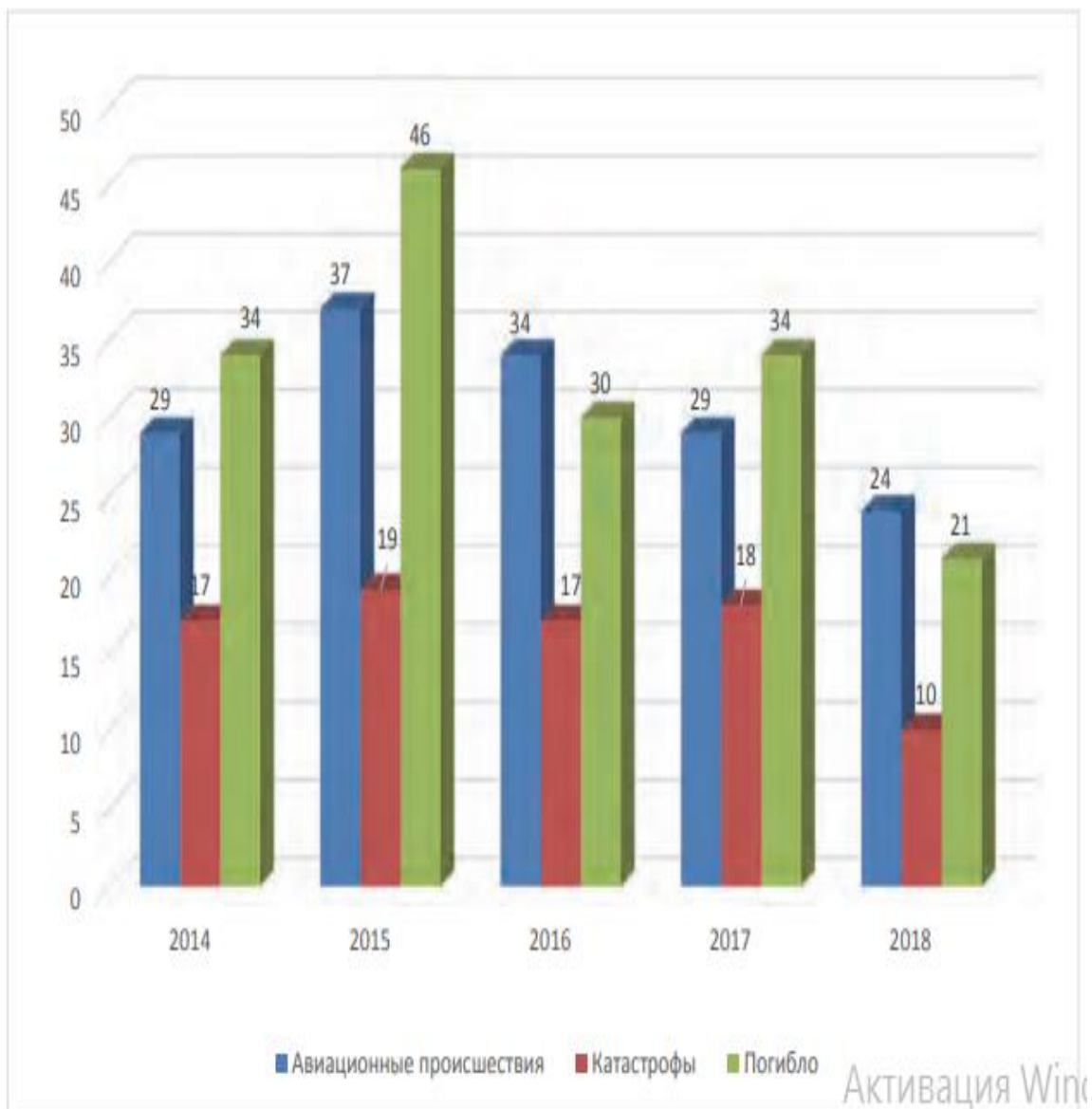


Рисунок 2 – Абсолютное количество авиационных происшествий и катастроф с воздушными судами АОН в ГА государств-участников Соглашения

Безусловно, эксплуатация АТ по состоянию имеет свои преимущества. Так согласно таблице 1 [26], степень охвата контролем состояния агрегатов значительно шире при эксплуатации по состоянию, но это для ВС западного производства. Для АРЗ ориентированного на ремонт АТ отечественного производства, присутствует высокая степень неопределенности состояния ВС. Учитывая, что в некоторых случаях владельцы АТ самостоятельно выполняют отдельные ремонтные работы, не имея соответствующей технологии и оснастки, увеличивается неопределенность состояния ВС без системного мониторинга. При этом отсутствует определенная методика по установлению технического состояния таких ВС при выводе в ремонт. Это вызывает большое количество вопросов по оценке реального состояния, как для владельцев ВС, так и для АРЗ.

Таблица 1 – Обслуживание ВС по различным критериям

Тип ВС	Количество агрегатов на самолете обслуживаемых по методам (%)			
	По ресурсу	По состоянию	По контролю параметров	По контролю уровня надежности
В-747	6	94	31	63
А-320	4	96	29	67

В настоящее время эксплуатация самолетов типа Ан-2 переведена по состоянию на основании сертификата типа, выданного предприятием изготовителем, при действующих сроках межремонтных ресурсов (табл.2). Данное решение, в отношении деятельности АРЗ, выполняющих капитальные ремонты легких ВС типа Ан-2, Ми-2, Як-18 создает определенные сложности.

Таблица 2 – Межремонтные ресурсы самолетов Ан-2 в часах налета

До 1 ремонта	до 2-го	до 3	До 4	до 5	до 6	до 7	до 8	до 9	После 9	Назначенный ресурс
2500	2500	2200	2200	2000	2000	1800	1800	1500	1500	20000

Это может сопутствовать дальнейшему ухудшению состояния ВС при существующей неритмичной деятельности АРЗ, изменению регламента работы, не загруженности оборудования и смены политики предприятия. В подобных условиях, предприятие вынуждено осуществлять корректировку прежних подходов к организации планирования процессов ремонта, от политики закупки комплектующих элементов до управления персоналом, что создает угрозу качеству проведенного ремонта ВС, так и существованию самого авиаремонтного предприятия.

Статистика одного из АРЗ (табл. 3) отражает снижение объемов АТ в ремонте [82]. В данных условиях завод медленно теряет не только объемы производства, но и свои качественные и количественные показатели предприятия. Предприятие сталкивается с кадровыми проблемами, увеличивается возрастная категория специалистов, сокращается приток молодых кадров, снижается степень мотивационных факторов и инструментов для привлечения профессионалов высокого уровня.

Таблица 3 – Динамика ремонтов АТ на АРЗ №406

Годы / Объект ремонта	2012	2013	2014	2015	2016
Самолет Ан-2	15	9	10(4)	10(4)	13(5)
Вертолет Ми-2	3	4	6	1	1
Двигатель Аш-62ИР	26	25	28	24	22
Двигатель ГТД-350	63	70	54	44	38
Редуктор ВР-2	25	22	11	9	4

- в скобках, самолеты иностранных государств;
- данные получены на АРЗ за указанный период.

Стремительно растет физический износ и моральное устаревание оборудования, присутствует низкий уровень автоматизации процессов и преимущественным остается ручной труд на большинстве этапов ремонта. Нарушение логистических связей между смежными предприятиями, также имеющих неритмичные заказы и объемы производств, отражаются на

длительности ремонта, вызванной задержками изготовления и поставки запасных частей. В настоящий период при существующих условиях производства, длительность ремонта ВС на АРЗ по типу ВС Ми-8, от поступления в ремонт до сдачи эксплуатанту достигли 150 суток, при этом в лучшие исторические периоды длительность не превышала 20 суток.

Еще одной угрожающей реальностью для АРЗ является тенденция медленного, но поступательного сокращения количества парка типов авиационной техники, на которую ориентировано предприятие. По данным Международного авиационного комитета (МАК) на 2020 год в России имеется около 1100 самолетов Ан-2. Благодаря работе МАК выясняются обстоятельства и причины, что отражается в статистиках [73]. Обращая внимание на причины произошедших катастроф и инцидентов с ВС, отмечается актуальность задачи по поиску новых путей и решений для повышения качества ремонта на авиаремонтных предприятиях.

В условиях сокращающегося количества ВС типа Ан-2 и Ми-2 и конкурентных предложений со стороны других АРЗ, ориентированных на ремонт, модернизацию и восстановление, требуются поисковые методы и инструменты и принятие существенных мер для повышения конкурентоспособности в данном сегменте рынка услуг. Необходима перестройка производственных процессов, уделение внимания современным принципам «бережливого производства» [29] с соблюдением стандартов качества ИСО и учетом влияния существующих и прогнозируемых рисков.

Для эксплуатантов АТ, в связи с переходом эксплуатации ВС по состоянию, требуется решение вопросов, связанных с выработкой методики оценки состояния ВС. В связи с отсутствием подразделений планирования в малых авиакомпаниях, требуется определенная экспертная методика или система, осуществляющая прогнозирование, планирование, оценку и рекомендацию вывода ВС в ремонт, не допускающая наступления критических состояний АТ. Превышение пороговых значений параметров, включенных в методику, поможет предупредить недопустимое снижение

летно-технических характеристик и резкое повышение вероятности проявлений как неисправностей и отказов, так и других серьезных событий.

Одновременно, для АРЗ формируется задача, требующая разработки нового подхода по оценке существующих угроз, влиянию рисков и повышению уровня контроля, с соответствующим повышением качества ремонта ВС и производственной результативности. Руководствуясь новыми требованиями к ремонту воздушных судов на АРЗ, пропорционально состоянию объекта ремонта, должны измениться методы в отношении контроля и диагностирования, ремонту и испытаниям, как по узлам и системам, так и в целом ВС. Применение современных подходов к организации производства путем повышения качества с учетом требований рынка и внесение инноваций в традиционные производственные процессы позволят АРЗ выйти на новые конкурентные позиции в своей отрасли.

Для действующего производства одним из эффективных рычагов следует рассматривать нацеленность на результативность процессов во всей цепочке добавления стоимости с выявлением потерь, угроз и факторов риска, без снижения качества конечного продукта, опираясь на современные инструменты и методы, имеющие реальное подкрепление практическим применением.

1.2 Анализ процесса ремонта авиационной техники в рамках теории ограничений

Концептуально теория ограничений Голдрата (ТОС- Theory of Constrains) представляет собой концентрацию организационных ресурсов для устранения ограничений (конфликтов), которые мешают предприятию полностью реализовать ее потенциал, представляя собой философию совершенствования системы [51]. В ТОС существуют три основных показателя, означающие: Throughput (Т) – пропускная способность, (производительность) исследуемого

объекта; Inventory (I) – учет (вложения); Operating expenses (OE) – операционные расходы. Предполагается, что если процессы протекают в оптимальном режиме, то результативность системы максимальна, и необходимо учитывать влияние и взаимодействие процессов внутри самой системы. В этом случае, должны быть определены необходимые условия для достижения поставленной цели, без которых реализация поставленной задачи невозможна. Если рассматривать ТОС на примере отдельного процесса, то требуемые выходные показатели процесса (рис. 3) будут являться целевыми для регулирования и управления.

Ремонт авиационной техники - это сложная динамическая система с многочисленными объектами, которая не может существовать без взаимодействия АРЗ с производителями авиационной техники, заказчиками (эксплуатанты АТ), поставщиками запасных частей и финансовыми организациями, образуя единый комплекс со сложными связями.

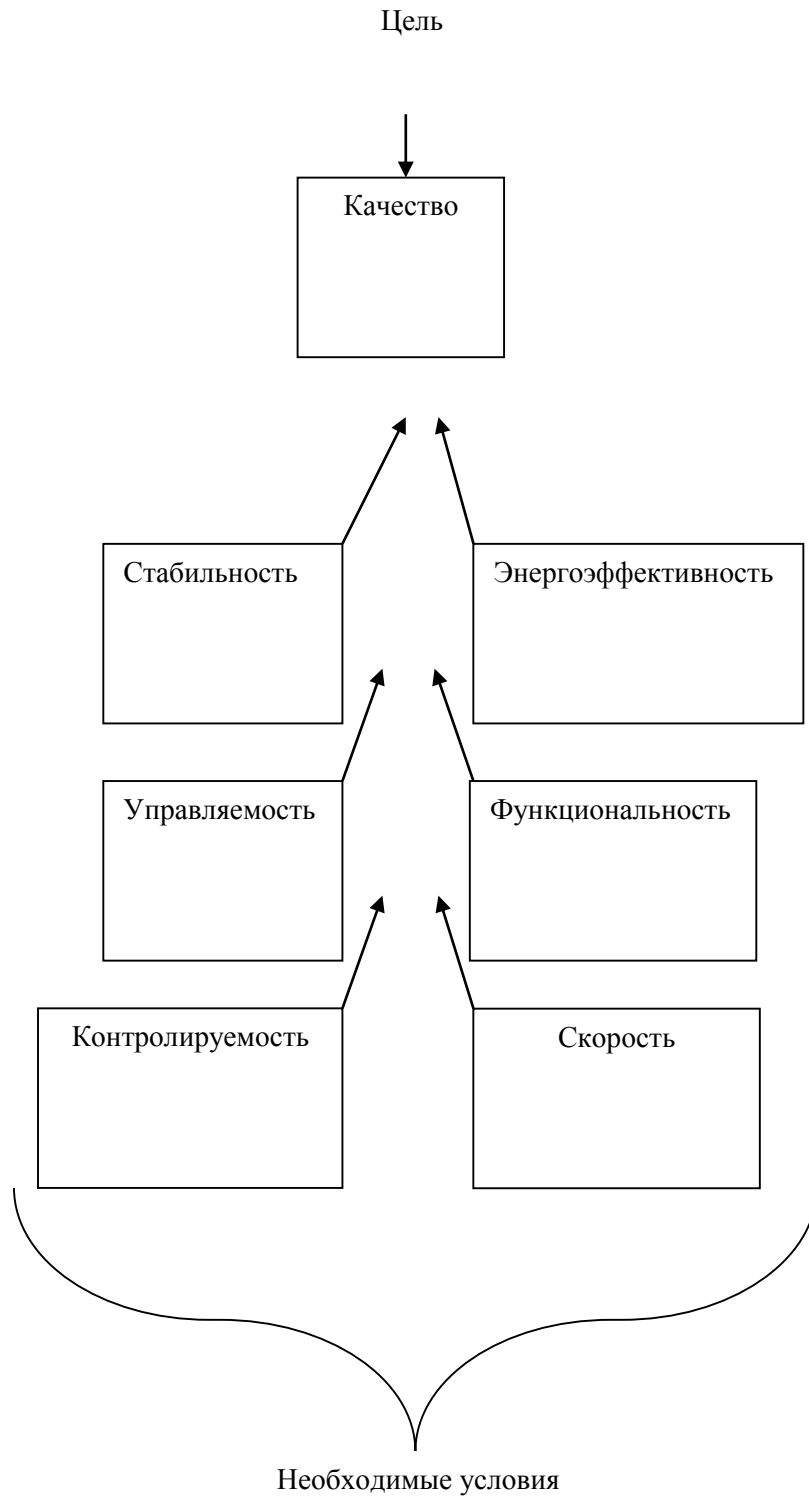


Рисунок 3 – Условные критерии достижения цели процесса

Учитывая, что ТОС в идеале не учитывает внешних факторов влияния, классифицируем их, разделяя на внешние и внутренние (рис.4). Для успешной реализации задачи повышения качества и результативности процессов ремонта необходимо исходить из существующих факторов, при этом ориентируясь на вероятно образующиеся будущие, тем самым осуществляя проактивные действия.

Внешние – это процессы взаимодействия с другими АРЗ, поставщиками запасных частей и авиакомпаниями-эксплуатантами, внутренние - это производственные процессы самого АРЗ между подразделениями.

Рассматривая влияние факторов с целью применения теории ограничений, изначально отметим внешние факторы (табл.3), оказывающие влияющие на жизнеспособность этой структуры и непосредственно на деятельность АРЗ.

Таковыми будут являться:

- количество эксплуатантов данного типа АТ (является одним из положительных важнейших факторов);
- количество существующих АРЗ с подобным видом услуг (является фактором осложнения);
- взаимодействие с контрагентами (фактор активности);
- политическая, экономическая, налоговая, таможенная и банковская среда взаимодействия между участниками процессов (факторы влияния);
- косвенные факторы влияния (тенденция в динамике и направлении использования видов и типов АТ эксплуатантами, наличие и направление государственной программы развития авиационной отрасли, повышение экологических требований и др.)

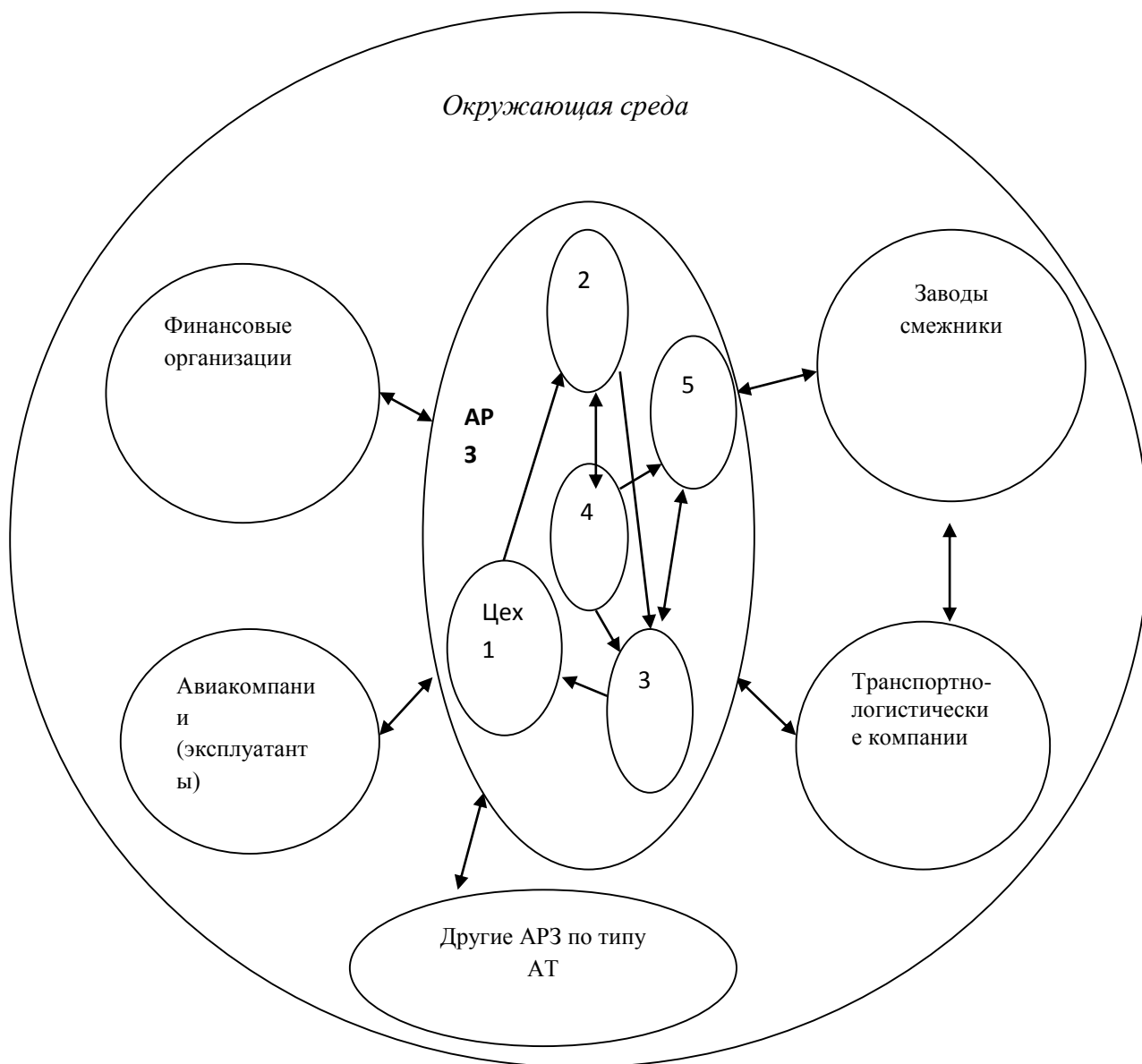


Рисунок 4 – Взаимодействие участников процесса ремонта

Следует отметить, что величина области влияния каждого фактора может быть увеличена до необходимых значений. Условно, результирующим показателем действенности процессов, будет являться суммарная составляющая,

$$\sum S = \sum S_e - \sum S_p + \sum S_a + \sum S_i. \quad (1)$$

Исходя из данного положения, нивелирование факторов ограничения на конкурентоспособность АРЗ следует рассматривать как необходимость повышения активности самого АРЗ за счет взаимодействия с партнерами, так и совершенствования внутренней организации процессов.

Таблица 4 – Внешние факторы влияния на процесс

№	Факторы влияния	Показатели			Интенсивность S
1	Эксплуатанты	Количество АТ -N	Часы налета и циклы ремонта -n	Количество ремонтов – r	$S_e = (N \cdot n) / r \cdot N \cdot 1000$
2	Существующие АРЗ по типу	Производительность -P	Заказчики-партнеры-F	Преимущественные факторы -V, $0 \div 2$	$S_p = P \cdot F \cdot V$
3	Экономическая среда	Ставка налогообложения - %n,	% банковского займа - %b,	Конфликт интересов-D	$S_a = 1 / \%n \cdot \%b \cdot D$
4	Коммуникация	Сроки переговоров t1	Время выполнения – t2	Срок поступления – t3	$T = t_1 + t_2 + t_3 / 12$
5	Косвенные	Потребность в типе АТ – Rn	Модернизация W	Доступность B	$S_i = R_n \cdot W \cdot B$

Для определения своих позиций, АРЗ может оценить показатель как расположение в среде, $k_1 = S_{AP3} / \sum S$, так и по отношению к другим АРЗ,

$$k_2 = S_{AP3} / \sum S_p \cdot (2)$$

Для снижения влияния внешних факторов следует противопоставить следующие действия:

- расширение линейки и сокращение длительности услуг и операций (исключая разовую операцию);
- гибкость во взаимоотношениях с партнерами (по срокам, ценам, дополнительных сервисных предложений);
- передачу непрофильных операций в аутсорсинг;
- применение автоматизированных систем коммуникации и сбора, анализа и передачи данных;
- стандартизация процессов;
- применение инструментов системы менеджмента качества (СМК);
- наличие и действенность системы управления рисками.

Внутренние факторы - это процессы и их показатели, отражающие текущее состояние и влияние на качество. Таковыми факторами являются:

- энерговооруженность, энерго-независимость и энерго-эффективность предприятия;
- степень механизации, автоматизации и компьютеризации процессов;
- поддержание уровня обученности и профессионализма персонала;
- стандартизация процессов и степень сопровождения качества на всех этапах;
- уровень новизны технологических операций и производственного оборудования;
- степень активности внедрения новаций;
- активность внутренней политики, постоянного совершенствования (по принципу lean).



Рисунок 5 – Последовательность и размерность во времени этапов ремонта

Ремонт авиационной техники на АРЗ представляет собой цепь последовательных взаимосвязанных этапов работ. Для оценки состояния и возможности управления производством необходимо установить основные показатели, позволяющие характеризовать процессы. Эти показатели могут отражать длительность этапов, сложность операций, степень автоматизации и пр. Так, в приложении 1 представлена циклограмма этапов ремонта вертолета Ми-2, отражающая этапы и их временные показатели.

Любое техническое устройство, при длительной эксплуатации либо подвергается восстановительному ремонту, либо утилизируется в конечном счете, в том числе и авиационная техника, требующая особого контроля, который регламентирован соответствующими документами, определяющими поддержание исправного технического состояния.

Причинами поступления в ремонт авиационной техники являются:

- износ элементов конструкции;
- конструктивные недостатки и производственные дефекты;
- нарушение правил эксплуатации;
- нарушение условий хранения и консервации.

Видами естественного износа элементов являются:

- контактный, окислительный, абразивный, эрозионный, тепловой, деформационный, коррозионный и усталостный [87].



Рисунок 6 – Степени участия человека в эргатических системах

Исходя их принципов теории оптимизации, следует отметить этапы, имеющие наибольшие контрольные значения, подвергаемые оптимизации. При точно отлаженной системе поставок комплектующих и организации процесса ремонта длительность прохождения цикла может достигнуть 20 дней. В циклограмме (приложение 1), выделены этапы, имеющие наибольшее затрачиваемое время, начиная с приемки ВС. К ним относятся демонтаж и разборка, подготовка и промывка, комплектование, дефектация и диагностика, ремонт- и замена, сборка и монтаж.

Процессы ремонта в большей степени представляются эргатическими системами (рис. 6) и являются многоконтурными системами с активным участием человека. В перспективе организация производственных процессов, стремится к меньшему участию человека и переложение основной части операций логики, принятия решений и монотонных, тяжелых и вредных операций на автоматизированные системы. Сокращая степень участия человека и приводя этапы и процессы ремонта к автоматизированному виду, суждение о совершенстве производства осуществляется на основе критерия автоматизации. Показатель экономии времени процессов при максимально возможной автоматизации - Δt_{full} (некоторые виды работ не поддаются автоматизации, по причине нецелесообразности и специфичности) и экономия времени при частичной - Δt_{part} , позволят выразить количественный показатель коэффициент автоматизации - η_{Aut} согласно (3), определяемый в процентах на примере таблицы 5.

$$\eta_{Aut} = \frac{\Delta t_{part}}{\Delta t_{full}} 100. \quad (3)$$

На начальном этапе приемки ВС в ремонт определенный объем занимает процесс определения остатков ресурсов и наработки по фюзеляжу, двигателям и бортовой аппаратуре в целом, для определения объемов выполняемых работ, что в основном выполняется вручную на основании записей в формулярах и паспортах. С этой целью наличие автоматизированной системы учета позволяет сократить время начального этапа, позволяет осуществлять прогнозирование состояния и планирование оптимального объема поставок запасных частей. Результатом взаимодействия АРЗ и авиакомпаний могла бы стать интегрированная автоматизированная система управления (ИАСУ).

Классическим подходом по сокращению времени производственного процесса является механизация ручного труда с помощью различных электро-, пневмо-, и гидро – инструментов на этапах разборки, промывки и монтажа. Сокращение процесса - это не только скорость выполнения ремонта и запуска очередного воздушного судна в ремонт - это еще сокращение общих производственных затрат на каждую единицу продукции, которое несет предприятие, это электро-, водо- и теплоснабжение, доставка запчастей и внутренние перемещения изделий и другие косвенные затраты, влияющие на себестоимость и результативность производства.

Один из ответственных этапов ремонта, подвергаемый оптимизации является диагностика и дефектация. Этот этап существенно влияет на качество ремонта, надежность авиационной техники и, в конечном счете, на безопасность полетов. Процесс выполняется с использованием специализированных инструментов и различных методов технического. в том числе и неразрушающего контроля, типа: метод краски, магнитно-порошковый контроль, рентгеновский, токо - вихревой, ультра - звукового контролей и других.

Таблица 5 – Оценка уровня автоматизации

Уровень совершенства процессов	Коэффициент автоматизации η_{Aut} , %	Экономия времени, Δt , час	Коэффициент автоматизации после применения новаций η_{Aut} , %
Ручной труд	0	$\Delta t = t_{old} - t_{new}$	$\frac{\Delta t}{t_{old} \times 100} = \eta_{Aut}$
Частичная автоматизация	$50\% \geq \eta_{Aut} > 0$	---	---
Полная автоматизация	$\eta_{Aut} \rightarrow \cong 100\%$	---	---

Применение систем, методов и моделей автоматического определения вероятности отказа и состояния элементов, радиоэлектронной аппаратуры (РА) на основании различных факторов влияния, позволило бы сократить время этапа дефектации, повысить точность результатов диагностирования. Прогнозирование состояния РА, позволяет своевременно планировать замену необходимых элементов, не прошедших диагностический рубеж. Своевременное установление возможных объемов замены и работ, позволяет оптимизировать операции подготовки и обеспечения поставок необходимых комплектующих изделий.

Рассмотрение производственного процесса ремонта АТ, как предмета оптимизации, позволило бы установить определенные этапы производства, позволяющие повысить их эффективность и сократить существующие потери. Этапы, существенно занимающие время ремонта отражены красным цветом в приложении 1, а также указаны возможные методы оптимизации для каждого этапа.

Так, процессы приемки, комплектования, дефектации и ремонта могут быть оптимизированы с применением систем учета и прогнозирования, который на данный момент отсутствует на предприятии. На этапах разборки, промывки и монтажа, эффективно использование средств автоматизации и механизации отдельных видов работ, сокращая время ручного труда. К сожалению, не все этапы подвержены оптимизации, ввиду специфичности

работ таких как, крупно-узловой монтаж, испытания, доводки, комплексный осмотр и др. Предлагаемые к применению методы позволят сократить общее время ремонта, что отразится на производственных затратах, повысит эффективность и качество выполняемых работ.

Несмотря на большое множество существующих методов обеспечения качества ремонта, безопасности полетов и надежности ВС, продолжают иметь место различные угрозы и риски проявления отказов на авиационной технике. Отражаясь на безопасности полетов, имеет место поступление на рынок авиационных запасных частей контрафактного продукта [46].

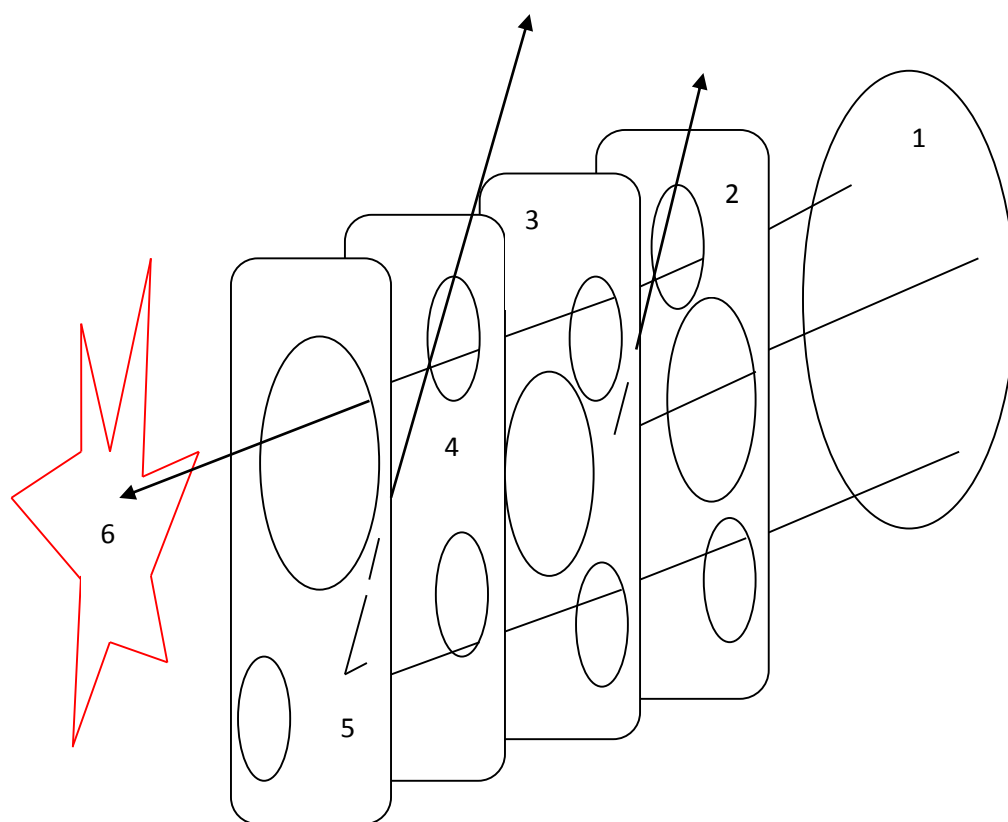


Рисунок 7 – Метод Джеймса-Ризона

По некоторым оценкам, объем нелегальных изделий установленных на ВС достигает 4-6% [74], что создает серьезную угрозу безопасности полетов [23], если не предпринимать соответствующих коррективных и проактивных действий, используя различные степени защиты.

В настоящий момент активно используется поэтапная техника защит по методу Джеймса – Ризо на «швейцарский сыр» представленная на рис.7. На

рисунке цифра 1, представляет собой потенциальные обстоятельства, представляющие собой множество угроз (обозначены стрелками) нормальному функционированию процесса, для недопущения наступления 6 - опасных последствий. Цифрами 2 - 5 обозначены различные предпринимаемые шаги (барьеры), такие как 2 – организационные, 3 – технические, 4 - обучение и тренинг и 5 - индивидуальные меры защиты. Исходя из цели задачи следует, что чем совершеннее система защиты, тем безопаснее процесс.

Таким образом, комбинация методик основанных на устранении ограничительных факторов и снижении уровня рисков, позволяет реализовать возможность выполнения оценки состояния, выявления причин потерь и выполнить поиск инструментов для повышения качества и результативности процессов ремонта.

1.3 Влияние существующих методов и инструментов комплексного подхода в решении задач повышения результативности производственного процесса ремонта ВС

С целью реализации комплексного подхода к повышению качества и эффективности производственных процессов ремонта, следует рассмотреть новые инструменты по оценке состояния и диагностике РА ВС. Традиционно, в системе управления проектами, к которым следует отнести необходимые усилия по совершенствованию процессов на АРЗ, существует три подхода:

- системный – требующий координации всех аспектов деятельности предприятия, с учетом внутренних и внешних связей и их взаимодействия, где под системой понимается набор относительно изолированных предметов образующих функционально достаточный комплекс, преобразующий внутренние процессы в реальные выходные действия и функционирующий

под влиянием естественных законов или сознательной человеческой деятельности [11];

- процессный подход представляет собой упорядоченную последовательность событий, этапов, состояний с преобразованием входов и выходов процесса, действие которого основывается на реализации алгоритма. Процесс, представляет собой модель поведения, повторяемого во времени, с конкретным началом и концом, целью которого является создание ценности для внутренних и внешних потребителей;

- ситуационный подход, интегрирует в себе все сильные качества двух вышеперечисленных, обладая при этом синергетическим эффектом, это способы и решения творческого поиска и создания новаций в условиях большой неопределенности и вариабельности.

Ситуация - это конкретный набор обстоятельств который сильно влияет на организацию в данное время. Традиционно, устоявшийся процессный подход в условиях большой неопределенности внешних условий рынка и состояния поступающей АТ на АРЗ, уже неспособен, качественно внести серьезные корректирующие и управляющие функции, способные адекватно реагировать на возникающие вызовы. В сложившейся ситуации для АРЗ, системный подход решения вопросов, повышения эффективности и конкурентоспособности предприятия представляется более предпочтительным. Для решения вопросов дальнейшего устойчивого развития рассматриваемого процесса ремонта, учитывающий влияние возможных неопределенностей, более эффективен ситуационный подход и дальнейшего упорядочения производственных процессов – процессный.

Авиаремонтный завод, представляя собой интегрированную систему в процессной среде, должен решать свои целевые задачи. Цель имеет три уровня задач, представлена на рис.8:



Рисунок 8 – Пирамида целей и задач в конкурентной среде

- стратегическая - выход на лидирующий уровень,
- тактическая – осуществить оптимизацию процессов и выход на конкурентный уровень,
- оперативная – своевременное реагирование на внутренние и внешние вызовы, и поддержание текущего уровня.

Для этой цели необходимо три важных компонента:

- руководитель проекта: генеральный директор (лицо принимающее решение -ЛПР), стратегия;
- исполнитель: главный инженер, проект, план действий;
- инструменты: стратегия, методы, инновации.

Для решения стратегических задач по выходу на конкурентный уровень положения APЗ, актуальным на настоящий период является применение методики «бережливого производства плюс шесть сигм» [29,70,110,115], где

основными критериями успеха являются, готовность руководства компании к изменениям, вовлеченность персонала в процессы модернизации, борьба с потерями и внесение инноваций. Таким образом, стратегия и методика «бережливого производства плюс шесть сигм» согласуются в структуре решаемых задач. Алгоритм технической реализации ситуационного управления проектом (целью) представленный на рис.8. может содержать три уровня (модулей) решения: уровень уяснения цели, определения задач, решения задач проекта.

Применение классической теории ограничений Голдрата [51] и уникальной производственной системы Тойота (Toyota Production System) [108,116], основанной на внедрении системы управления производством «канбан» реализующий принцип ЛТ (Justintime) и борьбы с устранением потерь «muda», позволит на примере компании Toyota, пересмотреть свои ресурсы и средства и использовать возможности и потенциал, для изменения сложившейся ситуации на предприятии. На настоящий момент структура производственных процессов на АРЗ остается традиционной, начиная от приемки ВС, до завершения летных испытаний.

Производственному менеджменту следует уделить тщательное внимание, с учетом современных подходов к качеству выполняемых работ. Где одним из решающих условий, является эффективность и качество процессов. Общепринято, что под процессом (от лат. processus-прохождение, продвижение) понимается последовательная смена состояний во времени и в пространстве. Это события, которые следуют одно за другим, составляя траекторию изменения состояний объекта. Международным стандартом ИСО 9000, менеджмент - характеризуют как управление своими взаимоотношениями с соответствующими заинтересованными сторонами, для устойчивого развития организации [36], а система менеджмента качества (СМК) устанавливает цели и ресурсы для достижения результата.

Влияние на процесс среды расположения существенно, в этом случае должны учитываться как внутренние факторы – ценности, культура, знание и

результаты так и внешние правовые, технологические конкурентные, рыночные, социальные и экономические. Основными ресурсами по поддержке СМК на производстве, являются работники этой организации и эффективность СМК будет зависеть от их обученности и подготовленности в проблемной области. Чем выше компетентность человеческого ресурса и степень вовлеченности, тем результативней будут показатели СМК. Подходы СМК позволяют идентифицировать существующие риски и содержат рекомендации по улучшению. Наличие авиационных стандартов [32,36,38,47] нацеливают авиапредприятия в большинстве своем ориентироваться на требования ИСО и рекомендации Международного авиационного комитета (МАК.). Некоторые АРЗ не учитывают угроз, как внешнего, так и внутреннего характера представляющих собой серьезные риски, способные существенно повлиять как на производственные процессы и на само предприятие. В этом случае определение и систематизация внешних и внутренних факторов влияния на производственный процесс и дальнейшую деятельность предприятия, позволит расставить приоритеты и целевые ориентиры воздействий.

Производственный процесс можно представить как управляемый проект со своими инструментами и объектами управления. Принимая во внимание внешние и внутренние факторы влияния, выстраивается комплексная система управления проектом. Так, на настоящий момент актуальными инструментами управления проектом с целью повышения качества, является метод шести сигм (МШС), благодаря которому реализуется результативность и принцип бережливого производства.

Разработка нового подхода в оценке состояния ВС, обусловлена требованием обеспечения надежности РА, с рассмотрением современных решений при установлении алгоритмов распределения вероятности отказов, как интегрированного показателя эффективности производства, что подтверждено, программными документами [3-5].

Одним из существенных факторов является разность природно-климатических условий эксплуатации АТ и разными видами вредных воздействий, что указывает на необходимость учета большого количества факторов, с целью установления оптимальных решений по выводу техники в ремонт. При всем этом должен присутствовать разумный баланс максимально возможных расходов на обеспечение безопасности полетов, при надлежащей финансовой состоятельности авиакомпании.

Одним из инструментов повышения результативности предприятия является учет проявления и снижение тяжести последствий негативных факторов как внутри, так и вне процесса. С целью предупреждения влияния негативных факторов, следует оценить существующие и возможные риски. Риск - это сочетание вероятности события и его последствий при этом термин «риск» обычно используют только тогда, когда существует возможность наступления негативных последствий [41-45]. Снижение вероятности наступления факторов отрицательного воздействия на процесс, позволит исключить или снизить объем как внутренних, так и внешних угроз.

Если исходить из стратегии управления безопасностью полетов, то существует три метода рефлексии на события, это - реактивный, превентивный и прогностический [38,75,133]. Следуя важности вопроса безопасности полетов и надежности последствий, то превентивный и прогностический подходы, являются своевременными и значительно существенными по снижению факторов риска.

Для действующего предприятия имеет место внутренние производственные риски, связанные с нарушением внутренних процедур, темпов и среды процесса. Следующей серьезной группой риска, является финансово-коммерческий риск и одним из основополагающих является организационный риск, связанный с менеджментом предприятия. Если не брать во внимание вероятность финансово-комерческого риска, то рассмотрение производственного и организационного рисков является генеральным направлением.

Классически принимается допустимый показатель уровня риска от 100 до 125 согласно FMEA, то для установления такого показателя изначально следует осуществить идентификацию, установить степень вероятности и определить степень последствий [42]. При этом чем шире диапазон оценки показателей риска, тем точнее позволяет установить допустимый уровень риска и отчетливо влияние на производственно-организационную деятельность.

Таким образом, авиакомпании, эксплуатирующие легкие ВС, нуждаются в наличии простых методик оценки состояния АТ и прогнозирования отказов. Разработка же автоматизированной системы управления предприятием (АСУП) для АРЗ на основе внедряемых методик позволит предприятию быть результативными. В основу такой АСУП должны быть положены алгоритмы контроля и управления как внешними так внутренними процессами, исходя из данных обеспечивая качество, нивелируя угрозы и улучшая менеджмент.

1.4 Критерии повышения результативности производственного процесса ремонта на авиаремонтном заводе

Повышение результативности процессов требует применения современных и эффективных инструментов управления, адекватно отвечающих вызовам современного времени. Без целевого управления, основанного на алгоритмах, никакая деятельность не может быть успешной. В настоящее время управление процессом требует поддержания показателей процесса в определенных границах и изменение их до требуемых значений. С этой целью требуется наличие измеряемых параметров процесса.

Для определения степени влияния на качество процесса рассмотрены показатели: время процесса, защищенность процесса от факторов негативного влияния (верификация, оценка и снижение рисков), достоверность

показателей контроля и степень инновационности. Временной критерий, является важным параметром любого процесса, как межоперационного, так и всего жизненного цикла. Несмотря на множество применяемых методов защиты и профилактики, угрозы и обстоятельства всегда имеют место и привносят свои “поправки” в итоговый результат – качество, что является критичным для авиационной техники и безопасности полетов. Чем выше степень оценки состояния и контроля, тем точнее выполняются необходимые действия и операции по приведению в требуемое состояние, параметра объекта или процесса. Актуальная технологическая прогрессивность и компьютерно-программная оснащенность процесса любого производства. Эффективное управление целевыми показателями, достигается и обеспечивается необходимым уровнем конкурентоспособности при наличии выверенной стратегии развития предприятия.

Благодаря американскому инженеру Ф.У. Тейлору, основоположнику научной организации труда, еще на заре массового периода экспериментов, были заложены основы менеджмента. Так, одним из известных алгоритмов управления, является принцип Деминга [89], основанный на простых но строго последовательных действиях (англ. *«Plan-Do-Check-Act»* - планирование-действие-проверка-корректировка на рис.9., представляя собой алгоритм действий руководителя.

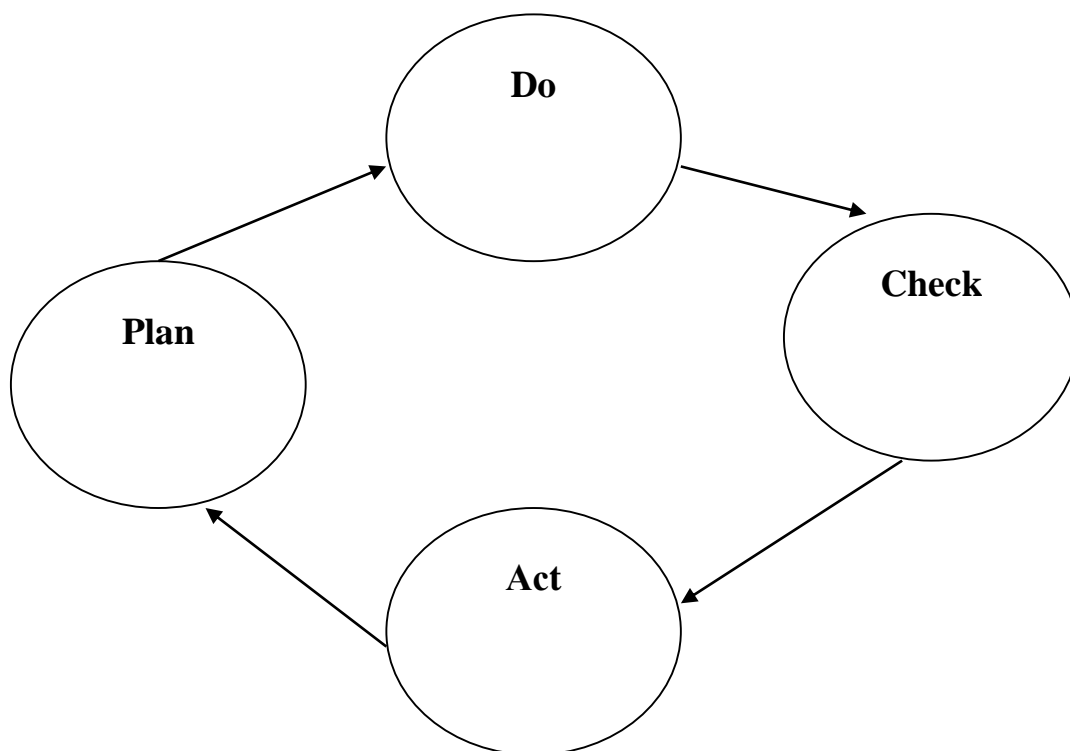


Рисунок 9 – Цикл Деминга

В работе [136] отмечены пять руководящих принципов которые работают над тем, чтобы добиться выдающихся успехов: измерения/бенчмаркинг, лидерство, участие сотрудников, улучшения процесса и ориентации на клиента. Только от качественной взаимосвязи применяемых инструментов управления, может образоваться синергический положительный эффект.

На этапе «Plan» формируется задача, определяется замысел решения и вырабатывается стратегия действий. Для существующей ситуации на АРЗ, необходимо сокращение временных потерь и устранение нестабильности процессов ремонт АТ. На основании этого формируется задача – выработать эффективные инструменты влияния на внутренние и внешние процессы.

Данный этап характеризуется глубоким осмыслением существующих проблем где основная роль уделяется топ-менеджменту [16]. Так для

сложившейся ситуации на АРЗ, было выгодно объединению решения стратегических задач вместе с АРЗ, на взаимовыгодной основе используя свои сильные позиции и компенсируя слабые. Если для установленных внутренних и внешних «узких мест», *muri&mura* (с яп. потери) поставлены задачи улучшения и выбрана стратегия, то наступает второй этап цикла Деминга – действия.

Задачей второго этапа является реализация принятой стратегии с применением различных инструментов улучшений. С целью устранения потерь следует воспользоваться концепцией Lean – (от англ. *lean production, lean manufacturing* – бережливое производство). Основа идеи взята их концепции производственной системы компании Toyota, автором которой является японский инженер Таити Оно [108]. Следует отметить, что для обеспечения робастности (жесткости) процесса, эффективным инструментом на данном этапе представляет собою метод Тагучи, позволяющий одновременное повышение качества со снижением потерь.

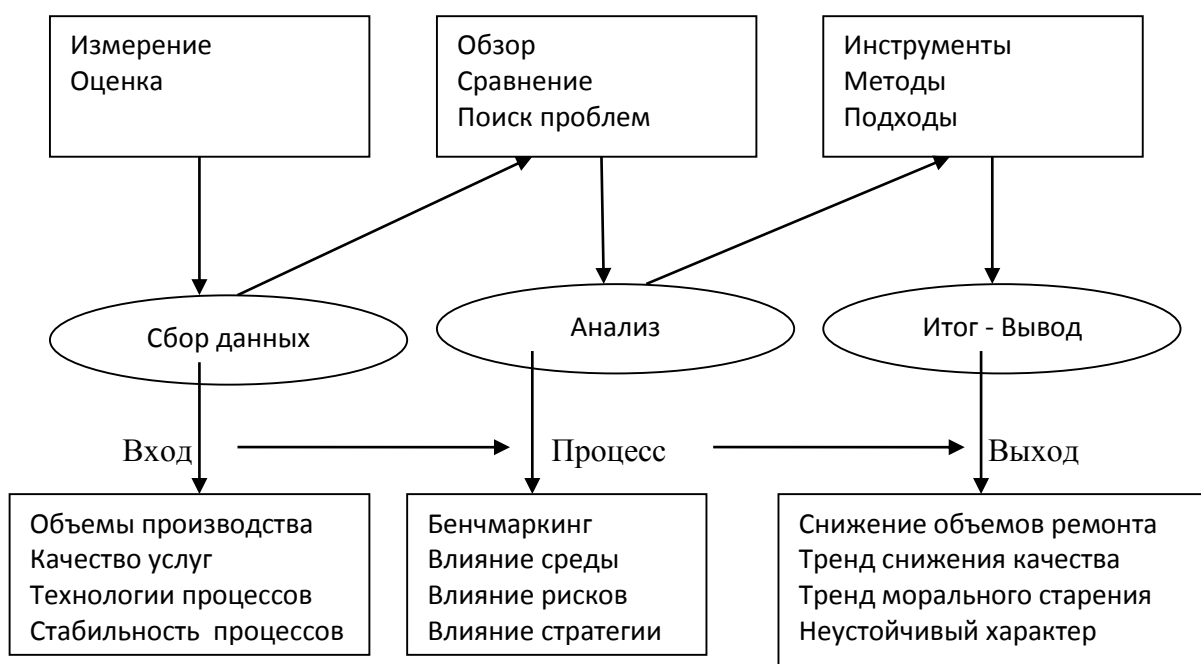


Рисунок 10 – Трехшаговый алгоритм на этапе «Plan»

На данном этапе, отражающего собой внутренние производственные процессы ремонта и его обеспечения, ссылаясь на [11] целесообразно применение таких инструментов улучшения процессов как:

- **система 5S**, это пять японских слов означающих (сиэри-сортировка, сеитон-соблюдение порядка размещения, сеисо-чистота, сеикэцу-стандартизация, сицукэ-совершенствование) для организации и рационализации рабочего места;

- **MRP**- (от англ. *Material Requirements Planning* - планирование потребности в материалах) позволяющее качественным образом организовать процессы логистики;

- **SMED** – (от англ. *Single-Minute Exchange of Dies* - быстрая переналадка оборудования), для эффективного использования станочного парка;

- **Poka-Yoke**- (от яп. защита от ошибок), использование специальных схем, устройств, методов, решений и процедур по исключению ошибок при выполнении операций человеком;

- **JIT**- (с англ. *Just in time* – точно вовремя), с целью исключения межоперационных задержек и накоплений незавершенной продукции на этапах в процессе производства;

- **VSM** - (от англ. *Value Stream Mapping* – картирование потока ценностей), для наглядного отражения движения объекта и регулирования потока;

- **MODAPTS** – (от англ. *Modular arrangement of predetermined time standards* – модульный набор стандартов заданного времени) позволяющее упрощенно определять и оптимизировать время и порядок выполнения ручных операций в модах, 1 мода = 0,129 сек. При включении в производственные операции таймера отсчета времени, выполняется хронометраж и обнаружение потерянного времени, как в операционный так и межоперационный период.

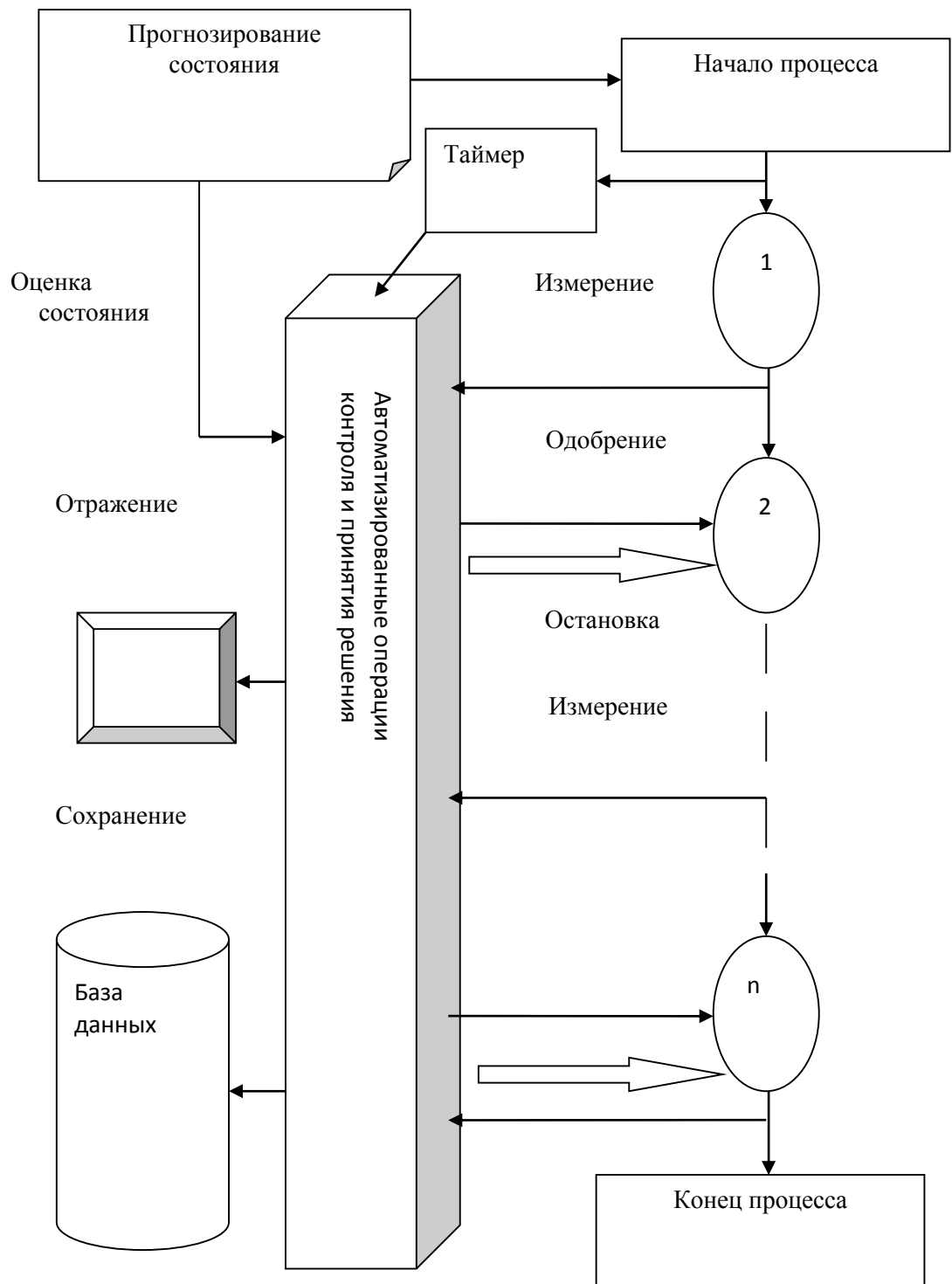


Рисунок 11 – Автоматизация управлением контролем качества процесса

Существенным воздействием на повышение скорости процессов и качество операций, будет применение автоматизации и компьютеризации отдельных процессов, с применением различных ИТ-технологий. Так при отражении параметров контроля на местах и внесении в базу ремонта каждого элемента, узла, агрегата, оборудования и системы ВС, возможно сокращение операционных процедур контроля и штатной численности персонала ОК. Автоматизация позволит своевременное и качественное регулирование переходных процессов с подачей управляющих сигналов на примере структуры (рис 11).

Так, на начало процесса, система получает оценку прогнозируемого состояния i_{jp} условного объекта j на начало l операции. В дальнейшем, система по результатам контроля состояния объекта после каждого этапа и принятого решения, подает управляющие сигналы f_j на продолжение или остановку процесса. Длительность задержки процесса t_d , будет зависеть от продолжительности инициирования нового процесса. Данные состояния объекта i_{jc} снимаются различными средствами контроля, сравниваются с требованиями стандартов внесенных в базу данных и одновременно отражаются для визуализации. При соответствии требованиям, поступает команда продолжения, в противном случае процесс останавливается и запускается процесс ремонта и запуск процедуры очередного объекта контроля. Не прошедший контроль соответствия объект удаляется из процесса. По опорным сигналам таймера t_b система выполняет отчет и управление своевременными переходами операций с одной на другую, при этом, осуществляя поиск временных потерь и резервов. Сумма сокращенных потерь и выявленных резервов $\sum t_p, t_r(j)$ по отношению к полному времени процесса T_{total} , будет представлять коэффициент результативности,

$$\eta = \sum t_{p, tr}(j) / T_{total}. \quad (4)$$

Таким образом, одним из критериев результативности является время жизненного цикла процесса. Обнаруживая и сокращая временные нецелевые потери, процесс ремонта позволит выделить время на увеличение контрольных функций или сократить потери энергетических ресурсов, что так же составляющей качества продукта (услуги).

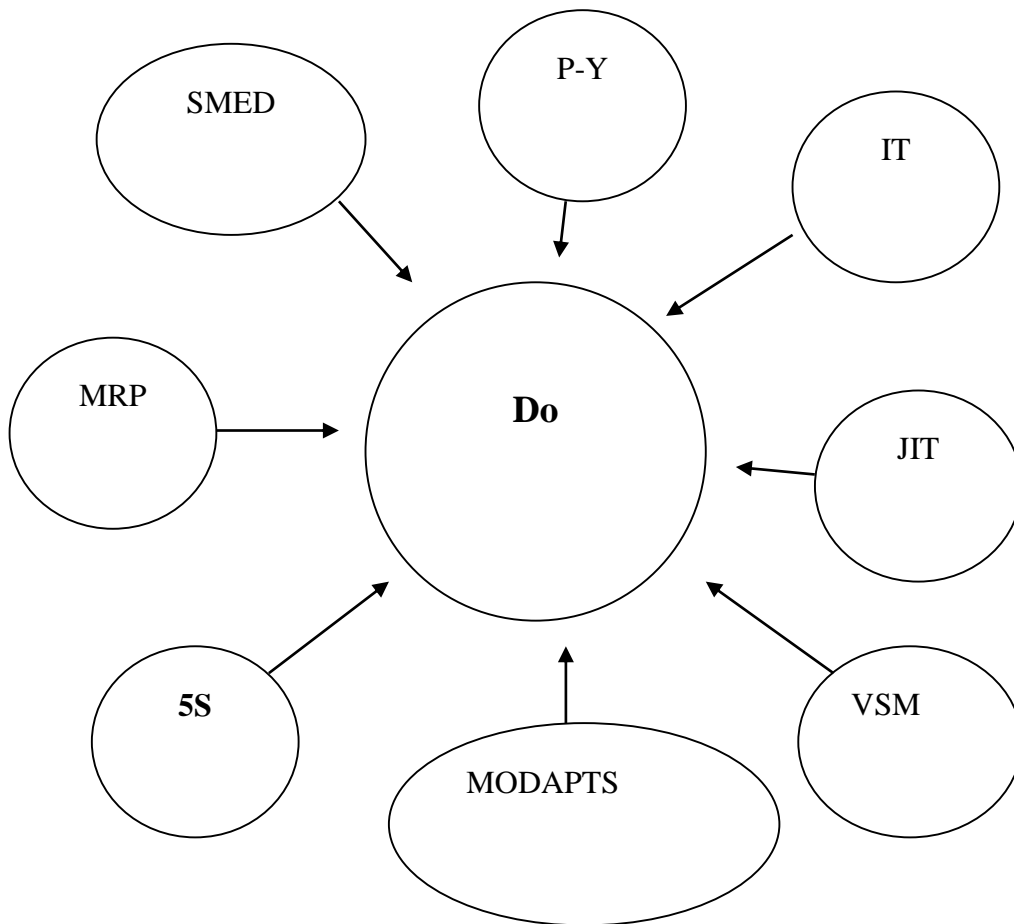


Рисунок 12 – Инструменты влияния на результативность процессов

Согласно третьему этапу цикла Деминга - «Check», предполагается контроль полученных результатов, где важным фактором оценки состояния и дальнейших корректирующих действий, является учет различных отрицательных факторов влияния - представляющих собою риски. Оценка и управление выходными данными O процесса возможна в случае их измеримости, соответственно факторы риска должны быть оценены E по отношению к установленному предельному числу риска (ПЧР).

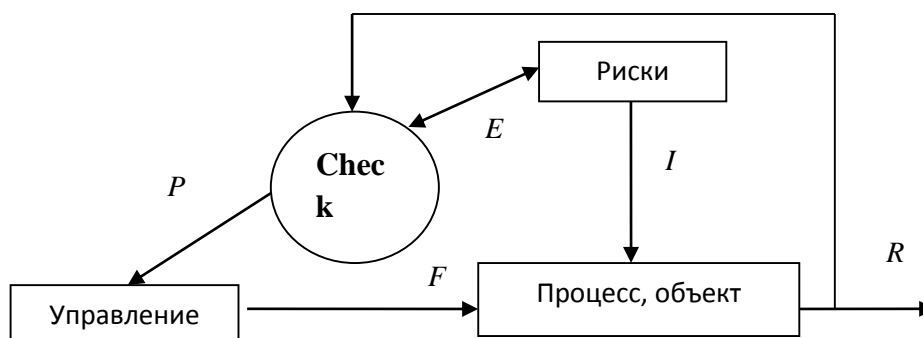


Рисунок 13 – Техника обратной связи для устранения факторов влияния

Использование методики оценки ПЧР согласно [41-45], позволяет внести коррективы P и выработать методы F управления с учетом факторов влияния I (рисков). Процесс контроля, структурно может представлять собою замкнутую систему с отрицательной обратной связью (рис. 1.), позволяющей поддерживать на выходе необходимые показатели R , регулируя на основе заданного алгоритма задач F .

Цикла Деминга предполагает выполнение сравнительного анализа показателей процесса с требуемыми и внесения дополнительных корректирующих функций, по оптимизации и совершенствованию.

В дополнение к управляемым критериям обеспечения качества и инструментам повышения конкурентоспособности предприятия, может применяться практическая программа революционных преобразований

предприятия (ППРПП). Данный подход актуален в странах Европы, Америки, Южной Африки, Восточной и Юго-восточной Азии, Океании и др. [60]. Так согласно этой концепции, 20 направлений изменений, дают синергетический эффект. Основной целью данной стратегии, является полное удовлетворение клиента, являющегося основным критиком качества. Согласно данной концепции, необходимо исполнять все 20 ключей одновременно, в существующей последовательности:

Алгоритм оценки состояния, достижения целей и контроль на каждом уровне ключей можно отразить в виде единой таблицы 6.

На основании существующего опыта автоматизации и роботизации процессов на производстве российских ведущих предприятий [12], сложные и опасные виды работ нуждаются в автоматизации и роботизации в первую очередь. Для АРЗ это являются: покраска, испытание двигателей, и др.

Таблица 6 – Алгоритм действий 20-ти ключей

№ ключа	Состояние	Инструменты улучшения	Ожидаемые результаты улучшений	Объекты улучшений
1.	Начальное	5S	Упорядоченность	Рабочие места
1.	Типовое традиционное	5S	Оптимизировано, до эффективного управления	Структура управления АРЗ
2.	Неорганизованное, не озадачено	SMED, Poka-yoka, MODAPS	Генерация идей и решений	Бригады, отделы, смены
3.	1-вар. Затоваренность 2-вар. Поставка с «колес»	MRP	Прогнозируемые своевременные поставки	Авиа. техника и комплектующие
4.	Однопозиционная настройка	SMED	Универсальность, повышенная загруженность	Станочный парк, оборудование, стенды
5.	Перерывы и неплановые задержки,	MRP, MODAPTS, JIT	Упорядоченность и непрерывность	Этапы и процессы
6.	Штат отделов ОТК, ОГТ,	Poka-yoka	Высокое качество, отсутствие дефектов, отказов и ошибок	Объекты ремонта, услуг
7.	Складирование и хранение незавершенной продукции	MRP, JIT	Хранение только находящегося в процессе	Производственные площадки
8.	Типовая 5-дневка	5S, JIT	Положительный эмоциональный фон	Регламент
9.	Не регулярность	MRP, SMED	Исправность, надежность, долговечность	Станки и оборудование
10.	Отдел контроля качества	VSM, CMK, стандартизация	Сокращение рекламаций, расширение географии услуг	Процедуры обеспечения качества, CMK
11.	Взаимодействие по ситуации	MRP	Кооперация, своевременность, гарантированность	Поставщики и смежные производства
12.	Незавершенная продукция	5S, VSM, JIT, MODAPS	Уменьшение затрат и себестоимости	Непроизводственные расходы
13.	Отсутствие стратегии	VSM	Понимание цели и задач, наличие мотиваций	Стратегия, перспективные планы
14.	Отсутствие учебного центра	SMED	Высокая квалификация, навыков, знаний, взаимозаменяемость, преемственность.	Персонал
15.	«Ручное», ситуационно	VSM, MODAPS	Автоматизированный, комплексный процесс (АСУП)	Организация производства
16.	Низкое, преимущественно ручной труд	JIT, MODAPS, механизация, автоматизация	Снижение себестоимости продукции	Персонал, производственный процесс
17.	Частичная механизация	Автоматизация и компьютеризация	Производство с малыми затратами, высоким качеством, конкурентным положением	Производственный и организационный процессы
18.	Городское теплоснабжение и энергопотребление	MODAPS, ВИЭ (возобновляемые источники энергии)	Снижение затрат и себестоимости продукции, энергетическая независимость	Энерго- и ресурсопотребление
19.	Отсутствие КБ для разработки новых технологий	VSM, НАТР РК (национальное агентство технологического развития) Казахстана	Конкурентоспособность, внедрение результатов научных исследований,	Технологичность предприятия

Таким образом, для повышения результативности производственного процесса диагностики и ремонта РА на АРЗ критериями оптимизации будут являться: временные показатели процессов на основе циклических графиков и оптимизация логистических операций по оптимизации запасов и незавершенной продукции, показатель качества контроля продукции (услуг) – достоверность, степень влияния риска и автоматизация процессов.

1.5 Выводы по главе 1

В первой главе, проведен обзор текущей ситуации в организации ремонта на авиаремонтных предприятиях и поиску методов решений согласно поставленным задачам. Исследованы примеры решения вопросов в области обеспечения безопасности полетов и поддержания летной годности воздушных судов, зарубежными исследователями. Выполнен, анализ производственного процесса с целью определения критериев улучшений в рамках теории ограничений Голдрата. Для определения сдерживающих факторов развития определены и проанализированы влияние участников среды взаимодействия. Рассмотрены различные инструменты, методы и принципы, позволяющие обеспечить повышение результативности производственных процессов ремонта и диагностики радиоэлектронной аппаратуры. В заключении предложены критерии улучшения с повышения результативности процесса ремонта и диагностики радиоэлектронной аппаратуры воздушных судов.

ГЛАВА 2. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ РИСКА МОДИФИКАЦИЕЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ

2.1 Классификация рисков и повышение точности оценки показателей числа риска

С целью обеспечения результативности производственного процесса необходимо рассматривать различные факторы влияния на АРЗ. Такими факторами могут являться решения государственных ведомств, действия конкурентов, устаревание технологических процессов внутри АРП, проявление новых угроз в виде отказов узлов и агрегатов авиационной техники или снижения точности оценки показателей. Одним из актуальных инструментов обеспечения результативности предприятия, зарекомендовал себя принцип оценки влияния рисков, которые рассматриваются и зарубежными исследователями [119,121,122,140]. Установление, оценка и анализ факторов, позволяет выбрать инструменты управления. Для сокращения рисков, определение которых отражено в [24], требуется их идентификация в виде измеряемых показателей. С этой целью предлагается метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов [43]. Простота метода создает условия для его творческого применения. Он позволяет определить приоритетное число риска (ПЧР), в виде цифрового значения, что вычисляется по уравнению (5), оптимум которого, располагается в пределах 100 – 125, согласно [45].

$$ПЧР = S \times O \times D, \quad (5)$$

где S – значимость последствий (тяжесть событий) дефекта, O – показатель возникновения (вероятность, интенсивность) дефекта, D – показатель обнаружения дефекта. Для идентификации числа, существуют три метода.

В работе применен статистический метод согласно данным [26] и экспертный метод оценки в соответствии с [44]. В первую очередь следует установить возможные угрозы на АРЗ.

Таблица 7 - Степень неопределенности ситуации

Внешние риски ВнРП	Внутренние риски ВтрП
<p>Сполной неопределенностью</p> <ul style="list-style-type: none"> • Стратегия и цели конкурентов • Время возникновения новых опасных факторов влияния 	<p>Сполной неопределенностью</p> <ul style="list-style-type: none"> • Остановка производства • Расширение производства
<p>С частичной неопределенностью</p> <ul style="list-style-type: none"> • Рост или снижение темпов производства 	<p>С частичной неопределенностью</p> <ul style="list-style-type: none"> • Перспективные объемы производства • Текущие затраты на производство
<p>С полной определенностью</p> <ul style="list-style-type: none"> • Возможное сотрудничество • Поставщики • Текущий объем заказов 	<p>С полной определенностью</p> <ul style="list-style-type: none"> • Неснижаемый запас • Срок выполнения заказа • Требуемые ресурсы и средства

Структура отражает внешние (ВнРП) и внутренние (ВтрП) риски АРЗ (приложение 2). После оценки оператор процесса сможет выстраивать политику принятия решений. Так, внешние угрозы основаны на коммуникациях, внутренние - это процедурные риски самого АРЗ. Все риски имеют условную степень определенности (таблица 7).

Предложено рассмотрение величины риска на примере – выход из строя генератора постоянного тока на ВС, с поломкой щеток и замыкание обмотки. Применяв метод [43], располагаем порядок событий.

Согласно таблице 6 из [43], выполнено ранжирование последствий. Расположенные от 1 до 10 баллов по нарастанию предоставляют оператору

процесса (предприятие, авиакомпания) установить значение тяжести или значимости «S» последствия входящего в ПЧР.

Таблица 8 - Шкала категорий тяжести отказов «S»

Категория тяжести, баллы	Характеристика тяжести	Последствие
10	Отказ моментально приводящий к разрушению объекта, значительному ущербу среды или отказу (системы) и гибели людей	Опасное без предупреждения
9	Отказ быстро приводящий к разрушению объекта, значительному ущербу среды или отказу (системы) и гибели людей	Опасное с предупреждением
8	Отказ медленно приводящий к разрушению объекта, значительному ущербу среды или отказу (системы) и гибели людей	Опасное с предупреждением
7	Отказ не приводящий к разрушению объекта, значительному ущербу среды или отказу (системы) и гибели людей.	Очень важное
6	Отказ не приводящий к разрушению объекта, незначительным ущербом среды или отказу (системы) и гибели людей	Очень важное
5	Отказ не приводящий к разрушению объекта, отсутствию ущерба среды или отказу (системы) и серьезную угрозу жизни людей	Важное
4	Отказ не приводящий к разрушению объекта, не наносит ущерб среде или отказу (системы) и представляет угрозу здоровью людей	Слабое
3	Отказ не снижает работоспособность объекта, не наносит ущерб среде или отказ (системы) и представляет угрозу получения травмы.	Очень слабое
2	Отказ не снижает работоспособность объекта, не наносит ущерб среде или отказу (систему) и опасность ушиба.	Незначительное
1	Отказ не опасный	Отсутствует

В таблице 8 события будут отражать отказа объекта контроля и его влияние на полет ВС.

Таблица 9 – Шкала вероятности появления отказа

Вероятность возникновения дефекта	Показатель частоты	Бал «О»
Дефект неизбежен	1 из 2-х попыток	10
	1-3	9
Высокая вероятность	1 из 8	8
	1 из 20	7
Умеренная вероятность	Более 1 из 80	6
	1 из 400	5
	1 из 2000	4
Низкая вероятность	Более 1 из 15000	3
	1 из 150000	2
Маловероятно возникновение	Менее 1 из 1 500 000	1

В данном случае тяжесть зависит от локации события: в полете 8, перед вылетом 6, в лаборатории 3. Так же для ПЧР, требуется показатель вероятности «О». Используем данные из [25], где для генератора, интенсивность равно $\lambda = 0,9 \times 10^{-6}$. Значение для «О» принимаем из таблицы №4 из [44]. Согласно показателю, отказ оценивается 2 баллами.

Заключительным показателем ПЧР является степень обнаружения отказа «D» согласно таблице 10.

Таблица 10 – Степень обнаружения отказа «D»

Обнаружение	Критерии, достоверности обнаружения	Бал «D»
Полная неопределенность	Большая глубина поиска, высокая сложность объекта, контроль не предусмотрен	10
Очень большая неопределенность	Очень плохие шансы обнаружения, недостаточность глубины контроля, сложность объекта	9
Большая неопределенность	Плохие шансы обнаружения, большая количество показателей, природы и глубина ограничен контроль	8
Умеренная неопределенность	Обнаруживается несколькими показателями более 4-х природ, более 3-х степеней глубины	7
Слабая неопределенность	Обнаруживается несколькими показателями более 3-х природ, более 2-х степеней глубины	6
Умеренное	Обнаруживается показателями более 2-х природ	5
Хорошая	Необходимо несколько показателей, 1-го уровня, 2-х природ	4
Высокая	Обнаруживается измерением нескольких показателей одной природы, одного уровня	3
Очень высокая	Достаточно простого измерения одного показателя	2
Явный	Дефект виден наверняка, не требуется измерений	1

Выбирая максимальные значения риска для отказа генератора, получим $S = 8$, для $O = 2$ и $D = 6$, в итоге получив, $ПЧР = 8 \times 2 \times 6 = 96$.

Отмечается, что показатели ПЧР для процессов будут иметь другие величины, указанные в таблицах 9,10,11. Так, показатель обнаружения отказа «D», имеет зависимость, что ранее не рассматривалось в [43]. Показатель «D» генератора, можно характеризовать исходя из природы возникновения. Всего имеется 4-х вида природ отказов и условно 12 показателей.

Сложность поиска характеризуется количеством применяемых методов, где итоговый показатель составил 24 условных значения при максимально возможном 144.

$$ТПР = 3 \times 2 \times 4 = 24, \text{ текущий показатель}$$

Таблица 11 – Показатели вероятности обнаружения отказа

	Базовый показатель	Текущий показатель
Количество показателей	12	3
Глубина	2	2
Сложность поиска	6	4

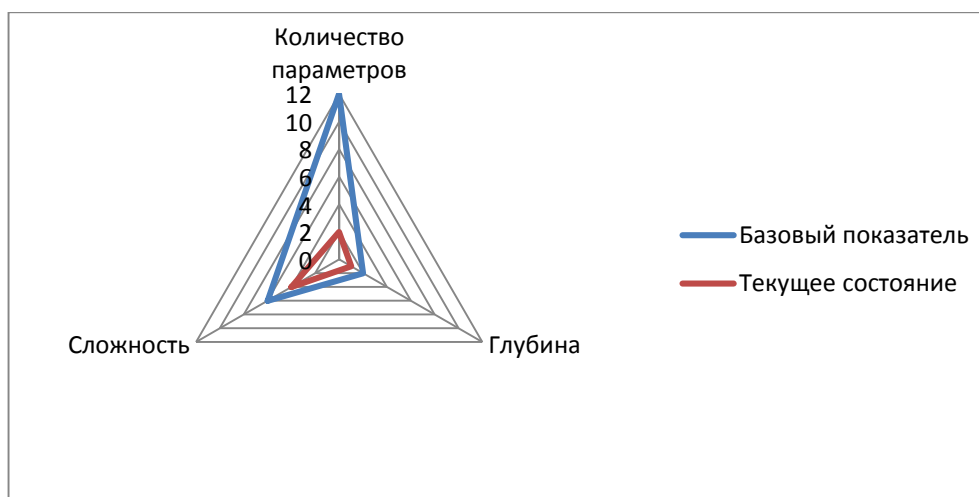


Рисунок 14 – Площадь коричневого треугольника отражает интегральный показатель степени обнаружения причины отказа

Результат отражен в 3-х мерном формате, представлен на рис 14 и в таблице 10. В итоге показатель выше на 12,5% допустимого 144, что нацеливает на поиска способов снижения причин для проявления дефектов до требуемого значения. Слабым звеном метода является влияние человеческого фактора, инструменты управления, рассмотрены в [43].

2.2. Совершенствование метода анализа видов и последствий отказов на основе карт Шухарта

В работе [87] отражены виды ремонта, но актуальным является вид по техническому состоянию. Эксплуатация по наработке часов по-прежнему актуальна. Переход на принцип по состоянию несет в себе определенные угрозы, и отрицательно повлиять на безопасность полетов. Следовательно, наличие системы контроля за рисками, будет всегда актуальной [69]. В этом направлении эффективно действие с применением метода FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) [44] использующие статистику для серьезного рассмотрения, часто используемого за рубежом [121,122], к которым имеют отношение и контрольные карты Шухарта [39].

Данный подход имеет большое распространение, практически во всех областях деятельности человека. Исходя из опыта и результатов других исследователей, применение данного метода обоснованно. На основании вышеизложенного в работе стоит цель по усовершенствованию данной методики для получения более точных результатов [80].

Метод FMEA, включает в себе установление видов потенциальных отказов обеспечивающегося регулярным анализом [44] причин и последствий. Основной подход заключается в оценке системы группой экспертов, которые оценивающие любой дефекта или отказ по трем показателям:

1. S – значимость, как тяжесть последствий;
2. O – вероятность или частота;
3. D – возможность обнаружения отказа.

Все показатели измеряются в пределах 10 баллов. Для «S» и «O» баллы возрастают в зависимости от частоты или значимости. Для «D» имеет движение вниз ростом вероятности обнаружения отказа. Итоговая оценка отказа принимается как ПЧР – приоритетное число риска, являясь произведением этих значений. Она изменяется в пределах от 1 до 1000 являясь оценочным показателем [39]. Согласно [44] допустимое значение ПЧР_{гр} находится в пределах до 125. Состав экспертов от 4 до 8 человек, которые являются профессионалами с высоким уровнем знаний в данной области. Объектом оценки являются риски в процессах ремонта и диагностики. Но точность суждений профессионалов и оценку, будет анализироваться с помощью других методов. Ими послужат статистические подходы, которые выполнял оценку годности АТ этим способом, используя инструмент контрольных карт Шухарта согласно[39].

В каждой системе робастность характеризует устойчивость (надежность) самого слабого звена [24], под этим понимается человек. Следовательно, присутствует «слабость» метода. Таким образом усовершенствование, имеет под собой основание.

Согласно [39], контрольные карты - это графическое средство, которое позволяет отобразить изменения. Процедура управляема, если отсутствуют внешние влияния. С этой целью следует выявить причины воздействия, которые необходимо исключить. С этой целью, примем различные группы экспертов которые выполняют оценку отдельно, в том числе отдельно и сами эксперты, выставляя свой балл. По результатам применения карт определяем общую оценку.

На них устанавливается уровень центральной линии (CL), и границы контроля относительно центральной, называемые верхней (UCL) и нижней

(LCL) контрольной границей. Их выставляют с двух сторон от центральной линии на удалении $\pm 3\sigma$, где σ – среднеквадратическое отклонение мнений экспертов. Оценки выходящие за пределы, считаются некорректными.

На рисунке 15 приведены оценки 6 экспертов с применением данного инструмента. Значения $\pm 2\sigma$ границ контроля, округляются до целого значения. По оси X размещены эксперты, а по оси Y их оценки от 1 до 10. На рисунке 1, двое экспертов оценили противоположно от основной группы. Дополнительно придется оценить ошибаются ли они, либо в ходе анализа FMEA были упущения. На рис. 3. все эксперты пришли к согласию, что является достоверной оценкой.

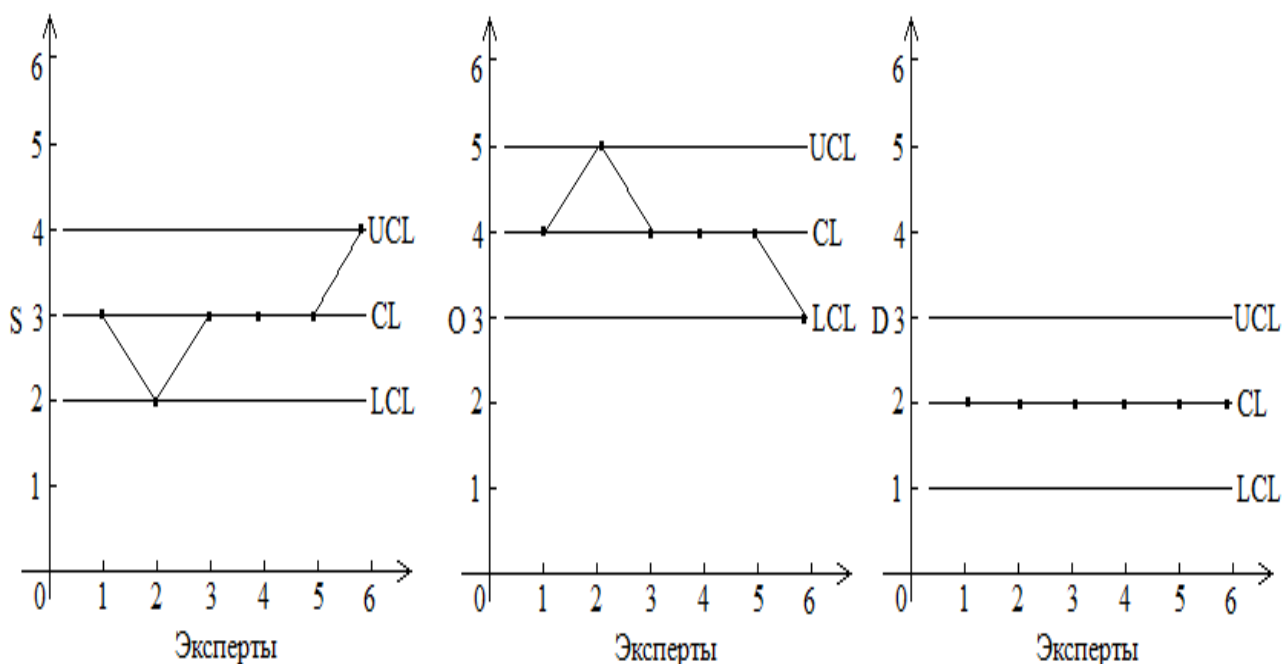


Рисунок 15 – контрольных карт Шухарта при оценке методом FMEA

Точность оценки действий в условиях эксплуатации по состоянию обеспечивается комбинацией методов, что позволяет проводить анализ по

методу FMEA и сравнение оценок по картам Шухарта, получая более точную величину ПЧР для конкретного отказа.

2.3. Применение статистических критериев для улучшения эффективности методов оценки рисков на основе критериев Граббса

Работа [31] регламентирует понятие риска. Это продиктовано необходимостью количественного учета вредных последствий, которые могут возникнуть на различных предприятиях. Следовательно, целью редакции стандартов является их минимизация. Согласно обзору [24] не все процессы системы менеджмента качества находятся на одном уровне риска с точки зрения способности организации выполнять свои задачи, но необходимость в их учете будет всегда.

В работах [24,147] представлены различные существующие методы оценки рисков, том числе и зарекомендовавший себя FMEA [44,95]. Этот метод доказал свою значимость своим широким применением. Имеет место возможность совершенствования, благодаря использованию статистических методов для повышения контроля качества.

В рамках методики FMEA слабым звеном может быть участвующий в оценке эксперт, не исключая уязвимости метода. Учитывая важность обеспечения качества, имеется возможность совершенствования FMEA благодаря статическим методам. Итоги оценок экспертов формируют генеральную линию. Могут возникнуть ситуации, когда одна или несколько оценок, которые не входят в общую группу, он называются выбросами [67,40], тогда статистические методы, обеспечат исключение выбросов для достоверности оценки.

В работах [44,95] оценка какого-либо дефекта по показателям FMEA проводится совместно экспертами путем «мозгового штурма». Здесь, предлагается независимая, друг от друга, группой экспертов. По результатам оценки, некоторые могут быть «подозрительными». Предлагается исключить

выбросы, при помощи критерия Граббса. Результаты оценок есть случайная величина и среди них может быть один выброс.

Пусть наблюдаемая выборка состоит из n мнений экспертов. Наблюдаемая выборка представляет следующий ряд:

$$X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}. \quad (6)$$

Построим по данной выборке вариационный ряд путем ранжирования результатов:

$$X_1, X_2, \dots, X_n. \quad (7)$$

Согласно [68] проверим гипотезу о принадлежности результатов одной совокупности. Конкурирующая гипотеза заключается в том, что крайние результаты вариационного ряда могут принадлежать другому закону распределения, которые могут представлять собой выбросы из генеральной совокупности.

Для проверки, не является ли выбросом крайняя наибольшая величина результатов, вычисляют статистику Граббса:

$$G_{\max} = \frac{X_n - \bar{X}}{s}, \quad (8)$$

где необходимо вычислить математическое ожидание или среднее результатов:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (9)$$

также необходимо вычислить среднее квадратическое отклонение (СКО):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}. \quad (10)$$

Для проверки на выброс наименьшей величины результатов, вычисляют другую статистику Граббса:

$$G_{\min} = \frac{\bar{X} - X_1}{s}. \quad (11)$$

С помощью формул (1) – (4) вычисляют статистические показатели и статистики Граббса. Максимальный или минимальный элемент выборки

считается выбросом, если значение соответствующей статистики превысит критическое значение:

$$\begin{cases} G_{\max} \geq G_{n,1-\alpha} \\ G_{\min} \geq G_{1,1-\alpha} \end{cases}, \quad (12)$$

где, α – уровень значимости. Уровень значимости можно принять в соответствии с принятыми подходами в [65, 40].

В случае нарушения неравенств (5) крайние значения результатов следует исключить, а экспертам следует пояснить причин обоснованности их выбора баллов. Критические значения статистик выбираются исходя из закона распределения случайной величины. Данные значения присутствуют в [40]. При наличии двух выбросов, оценивается совокупность результатов по двухвыбросной статистике Граббса согласно [67, 40].

Исключив из выборки выбросы, как результат принимается среднее значение, полученное в ходе экспертизы. Усредненное значение баллов может считаться наиболее достоверным результатом, исходя из принципа [111].

Таблица 11 – Результаты независимой экспертизы

Эксперт	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
S	5	5	6	6	5	5	8	6
O	1	1	2	2	1	2	5	1
D	9	9	9	10	10	9	2	9

Предположим, что командой из восьми экспертов выполняется независимая оценка состояния прибора ВС. В результате экспертизы FMEA баллы для потенциального отказа распределились согласно таблице 11.

Баллы необходимо ранжировать и статистически обработать на предмет обнаружения выбросов по Граббсу согласно (8) – (11). Результаты представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты обработки данных

Показатель	\bar{X}	s	G_{\max}	G_{\min}
S	5,750	1,035	2,173	0,724

O	1,875	1,356	2,304	0,645
D	8,375	2,615	0,621	2,437

Примем уровень значимости равным $\alpha = 5\%$. В этом случае в соответствии с работами [67,40], критические значения для статистик будут равными $G_{8/0,95} = 2,126$ и $G_{1/0,95} = 2,126$.

Сравнивая крайние значения полученных рядов с критическими значениями, мы получаем, что баллы эксперта X_7 являются выбросами, потому что значения статистик Граббса из таблицы 14 не соответствуют условию (12).

2.4. Повышение точности оценки риска экспертных решений геометрическим методом

С целью расширения инструментов оценки состояния ВС и повышения качества процессов ремонта предложена методика оценки точности измерений или решений экспертов основную на комбинации анализа причин отказов регламентированную ГОСТ [84] и выводов оценки по картам Шухарта на основе работы [138].

Ранее отмечалось, что анализ FMEA есть статистический метод. По результатам анализа выявляются наиболее критичные элементы. В результате оцениваются и разрабатываются, достаточность и необходимость элементов и процедур контроля, а также предложения по совершенствованию конструкции или технологии производства.

Выполнение FMEA рекомендуется, в случаях угрозы безопасности людей. Проведение анализа, обязательно на важных этапах жизненного цикла объекта. Анализ позволяет применять несколько методов, как: структурный, функциональный и комбинированный. Процесс оценки выполняется группой экспертов в количестве от 4 до 8. К экспертам предъявляются высокие

требования по наличию опыта и соответствующего коэффициента конкордации между экспертами [17] который определяется,

$$W = \frac{12S}{n^2(m^3 - m)} \quad (13)$$

где, S - сумма квадратов отклонений всех оценок рангов каждого объекта;

n – число экспертов, m – число объектов экспертизы.

Высокий интерес исследований к оценкам экспертов отражается в работах [23,86]. Выполняя оценку, эксперты выставляют баллы по трем основным показателям согласно метода FMEA и соответственно их можно отразить на картах Шухарта определяя среднее относительной центральной линии карты CL . При этом на карте соответственно отмечаются верхняя и нижняя предельные линии (UCL, LCL) $\pm 3\delta$ а также сигнальные линии на расстоянии $\pm 2\delta$, где δ – среднеквадратическое отклонение мнений экспертов.

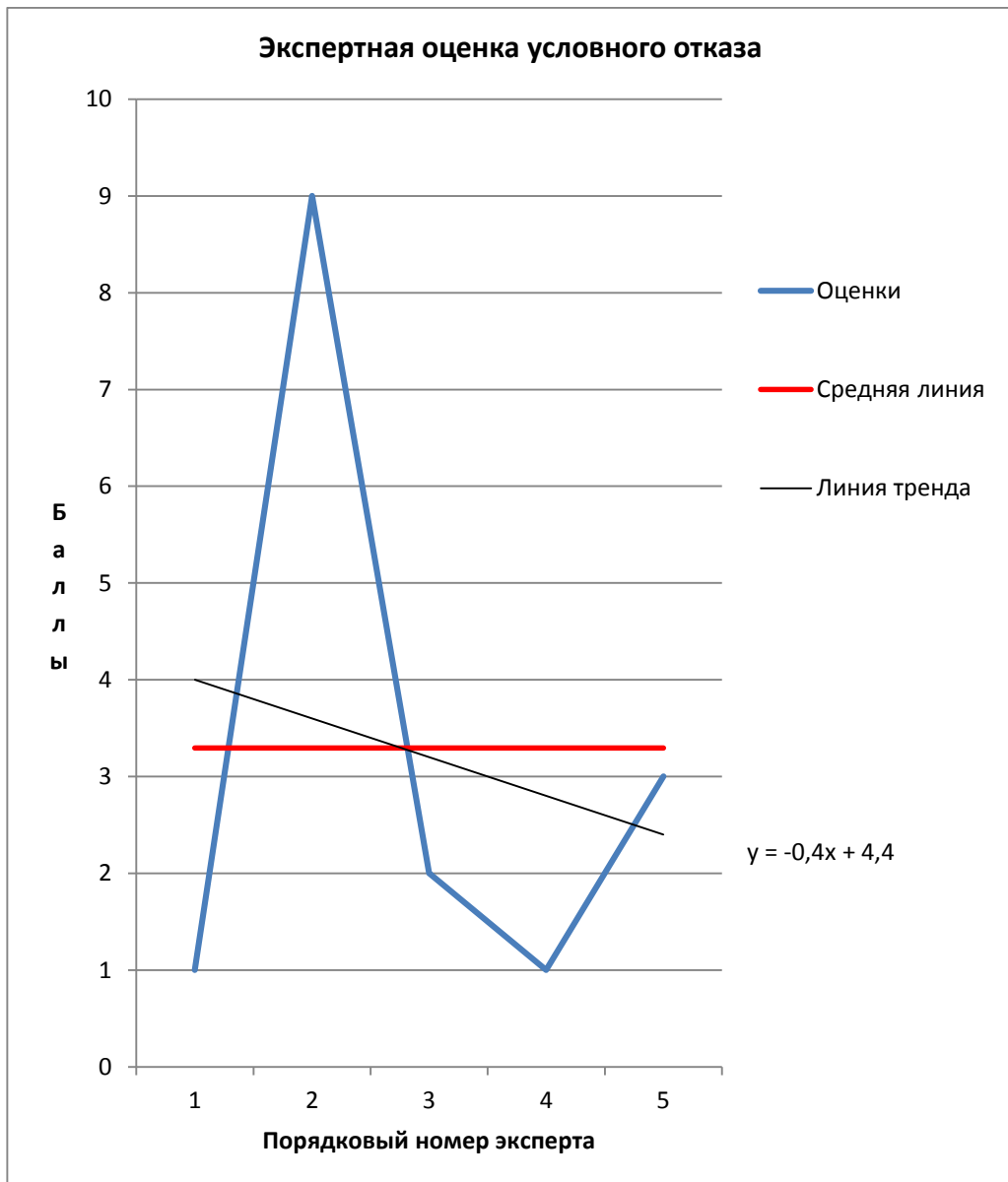


Рисунок 16 – оценок экспертов с характеризующими линиями

Исходя из различных комбинаций оценок, графики будут иметь различное отображение относительно средней линии LC. Отклонение от результирующей будет всегда иметь место. В этом случае верхняя и нижняя площади F ограниченные сверху и снизу кривыми графика расположенные относительно средней линии $2h = (UCL - LCL)$ переводятся в условные площади «прямоугольника оценок» и размеры этих площадей может изменяться в зависимости от совокупности оценок. С целью снижения

влияния максимальных отклонений от среднего значения оценок, применим данную методику.

Пример 1. 7 экспертов выставили следующие оценки (табл.13) с линией тренда описываемого уравнением указанного на рис. 3.

На рис. 16 вдоль оси X указан порядковый номер эксперта, по оси Y оценки (баллы), полученные при анализе, также отражены средняя результирующая линия оценок и линия тренда изменения решений экспертов.

Таблица 13 – Оценки экспертов и характеризующие линии

№ п.п.	Эксперты	1	2	3	4	5	6	7
1	Оценки	1	6	5	7	2	9	6
2	Средняя	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139
3	Линия тренда	3,213			5,139			7,065

Используя уравнения вычисления площади по известным координатам, для треугольника:

$$F = \frac{1}{2} [(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_3)], \quad (14)$$

для многоугольника:

$$F = \frac{1}{2} \left[\begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{vmatrix} + \dots + \begin{vmatrix} x_n & y_n \\ x_1 & y_1 \end{vmatrix} \right], \quad (15)$$

где, $(x_1, x_2, x_3, x_n$ и $y_1, y_2, y_3, y_n)$ координаты точек очерчивающих фигуры для вычисления площади фигур расположенных от средней линии вверх и вниз, получим суммарную площадь $F_U = 5,46$ всех площадей фигур над CL и суммарную площадь $F_L = 4,06$ всех площадей фигур под CL. В этом случае высота верхней площади h_u будет равна отношению F_U к длине средней линии CL равной 7 по числу экспертов, таким образом определяем и высоту отклонения нижнего края площади h_l .

Таблица 14 – Включает значение UCLи LCL

№ п.п.	Эксперты	1	2	3	4	5	6	7
1	Оценки	1	6	5	7	2	9	6
2	Средняя	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139
3	LCL (-0,57)	4,569	4,569	4,569	4,569	4,569	4,569	4,569
4	UCL (+0,78)	5,919	5,919	5,919	5,919	5,919	5,919	5,919

В итоге, верхняя граница площади располагается выше средней линии на 0,78 балла (условного показателя), а нижняя на 0,57 балла ниже средней, для определения значения расположения в баллах воспользуемся, уравнениями:

$$UCL = CL + 0,78, \quad LCL = CL - 0,58. \text{ Значения отображены в таблице 14.}$$

Исходя из рис.17, отклонения верхней и нижней границ, занятых площадей имеют различные значения и прямо пропорциональны знаку и величине максимального и минимального баллов выставленных экспертами.

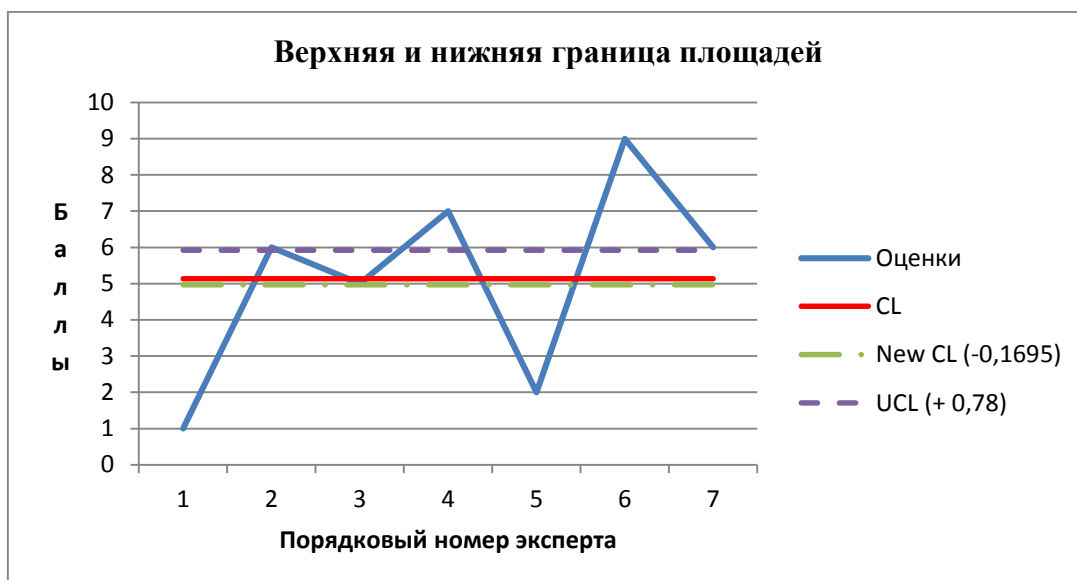


Рисунок 17 – Расположение верхнего и нижнего края площадей F_U и F_L

Определим отношение максимальной положительной оценки l_{max} к UCL используя уравнение,

$$k_U = \frac{UCL - CL}{l_{max} - CL} \quad (16)$$

Получим значение $k_U = 0,202$

Таким же методом оценим отношение величины l_{min} к значению LCL используя уравнение,

$$k_L = \frac{CL - LCL}{CL - l_{min}} \quad (17)$$

Получим значение $k_L = 0,137$

Вычислим результирующий осредненный коэффициент отклонения от средней линии,

$$k_{CL} = (k_U + k_L)/2 = 0,1695 \quad (18)$$

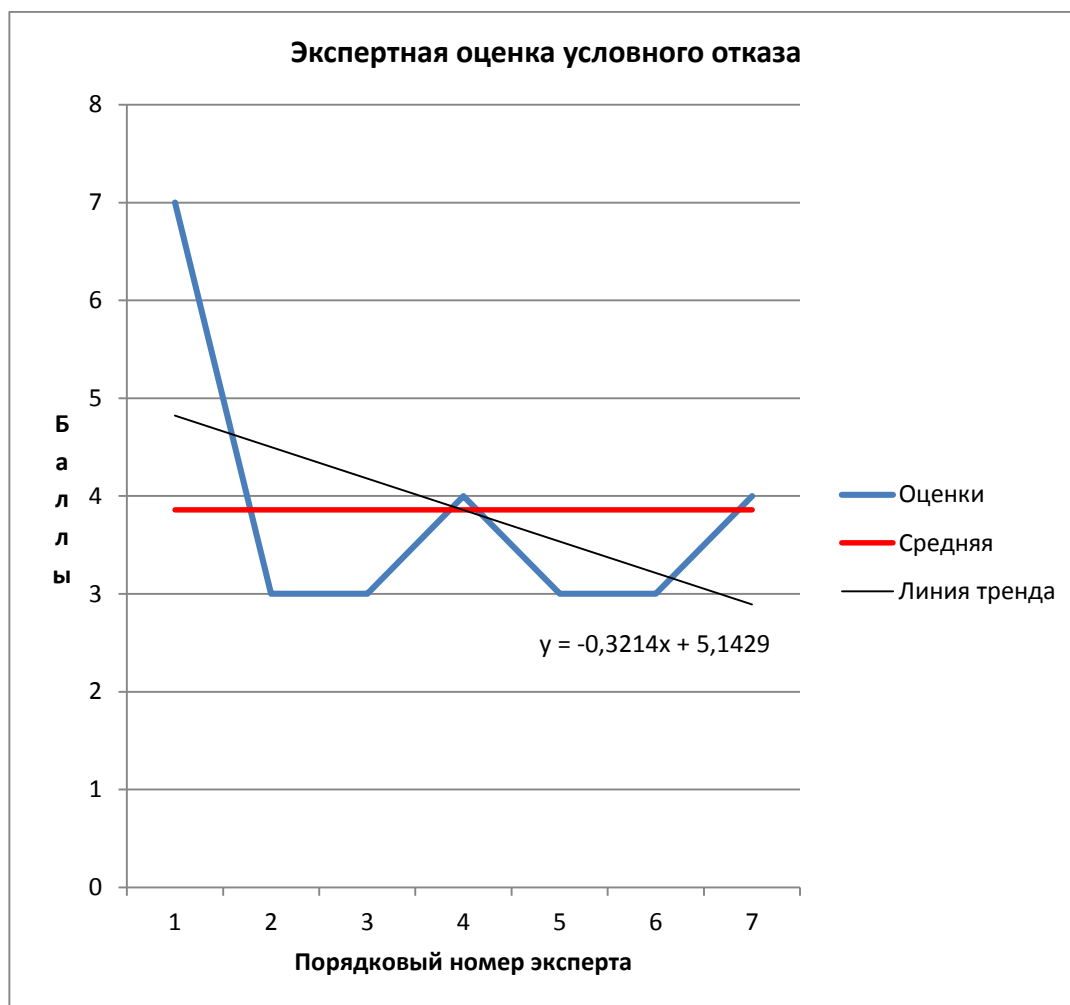


Рисунок 19 – График оценок экспертов с характеризующими линиями

Если принять это значение как поправку расположению средней линии оценок экспертов, то уточнено расположении линии CL будет находиться ниже существующей на величину $CL - 0,1695$. Результирующая линия отражена на рис.20.

Таблица 17 – Оценки экспертов (Пр.2) и характеризующие линии

№ п.п.	Эксперты	1	2	3	4	5	6	7
1	Оценки	7	3	3	4	3	3	4
2	Средняя	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139
3	Линия тренда	4,821	4,179	4,179	3,858	3,537	3,27	2,895

Таблица 16 – Включает значение UCLи LCL

№ п.п.	Эксперты	1	2	3	4	5	6	7
1	Оценки	7	3	3	4	3	3	4
2	Средняя	3,858	3,858	3,858	3,858	3,858	3,858	3,858
3	UCL	4,085	4,085	4,085	4,085	4,085	4,085	4,085
4	LCL	3,363	3,363	3,363	3,363	3,363	3,363	3,363
5	Линия тренда	4,821	4,179	4,179	3,858	3,537	3,27	2,895

Рисунок 20 – Расположение верхнего и нижнего края площадей F_U и F_L

Воспользуемся уравнениями (1, 2) получим площадь $F_U = 1,59$ и $F_L = 3,47$, тогда, $h_U = 1,59/7 = 0,227$ и соответственно $h_L = 3,47/7 = 0,495$.

Исходя из полученных данных получим верхний и нижний показатель условных площадей вдоль средней линии, $UCL = CL + 0,227 = 4,085$;

$$LCL = CL - 0,495 = 3,363$$

Для вычисления k_U и k_L воспользуемся уравнениями (3) и (4)

Полученные значения $k_U = 0,072$ и $k_L = 0,576$ используем для определения осредненного коэффициента отклонения согласно (5), в результате чего получим $k_{CL} = 0,324$.

Таблица 18 – Новое значение CL на основании поправки

№ п.п.	Эксперты	1	2	3	4	5	6	7
1	Оценки	7	3	3	4	3	3	4
2	Средняя	3,858	3,858	3,858	3,858	3,858	3,858	3,858
3	New CL (CL-0,324)	3,534	3,534	3,534	3,534	3,534	3,534	3,534

Тогда, $CL_{new} = 3,534$ и получим новое расположение CL на рис. 21.

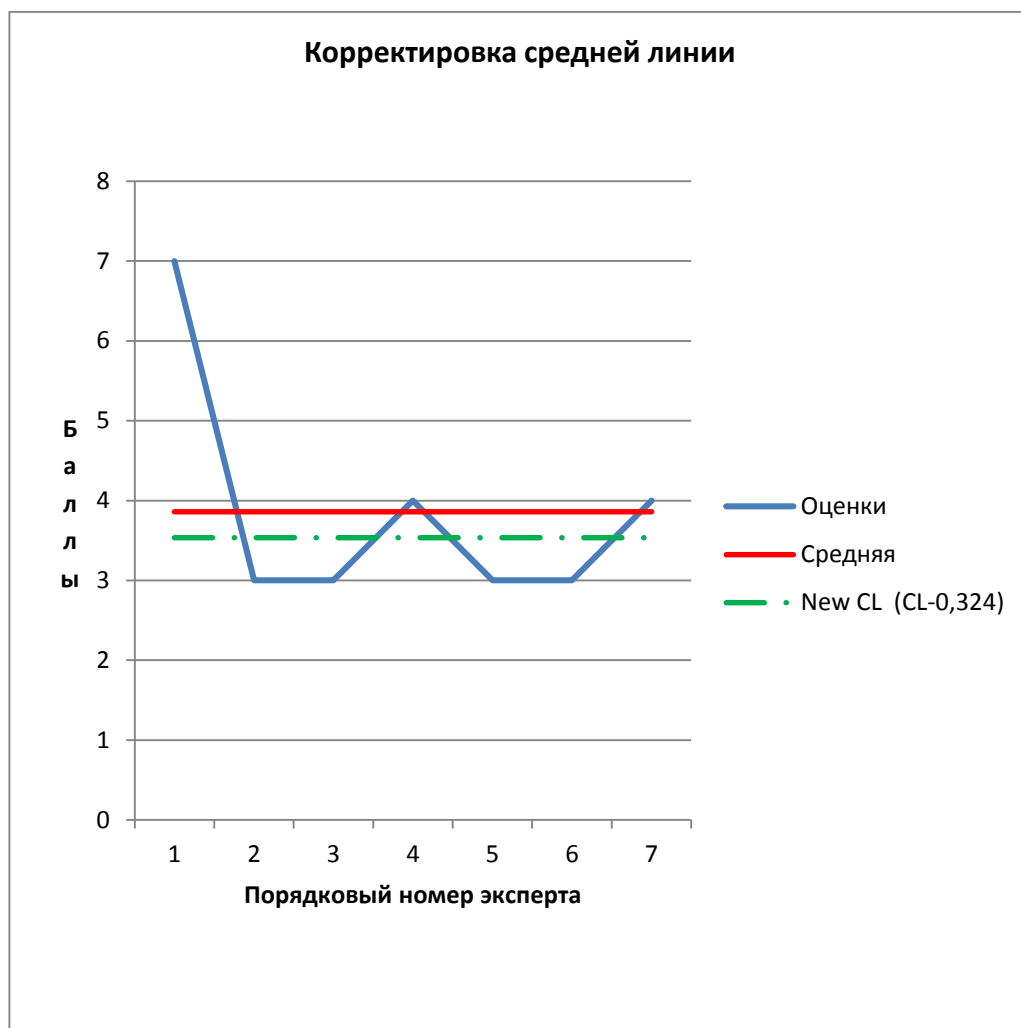


Рисунок 21 – Смещение уровня CL на основании поправки

Получена методика, позволяющая снизить степень влияния максимальных отклонений оценок на результирующий показатель оценок экспертов. Определена уточняющая поправка в зависимости от коэффициента соотношения максимальной оценки поправка уточненный показатель CL среднего показателя оценок экспертов. Новое значение CL определяется за минусом величины поправки.

Таблица 19 – Результаты применения методики

№ п.п.	Значения	CL1	CL2	CL3 условно	CLnew1	CLnew2	CLnew3 условно
1	величина	5,14	3,82	8,25	4,96	3,53	7,99
2	ПЧР1/ПЧР2	S1	O1	D1	S2	O2	D2

Данная методика будет полезна в авиакомпаниях имеющих экспертные советы, в функции которых включены процедуры по идентификации и оценке рисков угрожающих безопасности полетов. Такие советы состоят из первого руководителя, его заместителей, начальников инспекции по безопасности полетов, службы авиационной безопасности, отдела качества и других подразделений, деятельность которых имеют непосредственное отношение к обеспечению полетов.

Используем выходные данные двух выше приведенных примера как величины S , O и условно приняв значения D для определения влияния на ПЧР

Так, при незначительных изменениях значений CL (максимальное отклонение $0,29$ в значениях CL_2-CL_{new2}) согласно данной методике, получим выходные значения - ПЧР1 ≈ 162 и - ПЧР2 ≈ 140 , что отражает значительные изменения величины предельного числа риска. В итоге, незначительные изменения средней величины оценки экспертов при определении ПЧР, приводят к необходимости его коррекции.

2.5. Риск-ориентированное решение задач в условиях неопределенности объектов ремонта с учетом оценки стоимости затрат

Мировой опыт демонстрирует что эксплуатирующие и авиаремонтные предприятия переходят на принципы поддержания ЛГВС по состоянию [56, 49]. Актуальным является переход к принципу ТОиР по состоянию в большинстве авиакомпаний, ранее применяя традиционных способ [81].

Внимательного подхода к новым рискам, требует переход системы ТОиРВС к другому типу обслуживания. Эксплуатантам, приходится выполнять оценку объема ремонтных работ с финансовой стороны в условиях неопределенности. Подобное решение могли бы использовать и АРЗ при оценке величины объема ремонта для ВС в новых условиях. Следовательно значение риска можно оценить по формуле [31]:

$$R(x) = A(x) \cdot P(x), \quad (19)$$

где $R(x)$ – величина риска, $A(x)$ – последствия события наступления риска, $P(x)$ – вероятность наступления риска, x – случайная величина, которая характеризует отказ. Перечисленные величины в уравнении (1) представляют законы распределения случайной величины.

Согласно [24] вводится понятие противоположного события, называемое шансом, которое можно выразить следующей формулой:

$$Q(x) = 1 - P(x). \quad (20)$$

В таблице 1 представлено соотношение между параметрами риска (шанса) и стоимостью аппаратуры в зависимости от его состояния.

Согласно таблице 20, полагаем, что произведение последствий наступления риска на вероятность события будет величиной постоянной. Аналогичная модель оценки риска принята в работе [10], называемая линейной моделью инновационного цикла для оценки стоимости затрат. Если уравнение (20) определяло величину риска, то следующее уравнение, в рамках данной задачи, определяет величину шанса:

$$\bar{R}(x) = Q(x) \cdot A(x) = (1 - P(x)) \cdot A(x) = const. \quad (21)$$

Можно заключить, что по мере увеличения времени эксплуатации, следует увеличивать объем инвестиций на поддержание ЛГ. Аналогия подходит из-за взаимной компенсации интенсивностей изменения двух параметров (21), что обеспечивает постоянство величины шанса. Поэтому в этих условиях, данная модель может быть принята в качестве метода оценки ЛГ по экономическим показателям.

Таблица 20 – Оценки аппаратуры ВС в двух крайних состояниях

Значение параметров риска	Состояние РА ВС	
	Новое воздушное судно (часть)	Списанное воздушное судно (часть)
Стоимость судна	Полная стоимость	Судно условно ничего не стоит
Количество денежных средств для восстановления A	Не требуется ($A=0$, рублей)	Полная стоимость ($A=A_{max}$, рублей)
Вероятность отказа $P(x)$	Невозможное событие ($P=0$)	Достоверное событие ($P=1$)
Вероятность противоположного события $Q(x)$	Достоверное событие ($Q=1$)	Невозможное событие ($Q=0$)

В соответствии с формулой (21) выполняется оценка необходимый объем денежных средств по законам распределения надежной работы аппаратуры, при допущении закона распределения времени безотказной работы двигателя, в форме экспоненциального характера:

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (22)$$

где λ – интенсивность распределения, которая зависит от параметров двигателя, t – время, которое является случайной величиной.

Шанс отказов, будет следующим:

$$Q(t) = e^{-\lambda t}. \quad (23)$$

Поэтому из уравнений (2) и (4), можно будет найти соотношение для оценки промежуточных денежных затрат по поддержанию исправности ВС до момента полного списания:

$$A(t) = \frac{C}{Q(t)} = Ce^{\lambda t}, \quad (24)$$

где, $C = const$ – постоянная величина обратного риска. Из формулы (24) видно, что по мере старения воздушного судна стоимость услуг на поддержание работоспособности будет расти по экспоненциальному закону.

Данное решение определяет ПЧР для конкретного объекта контроля, исходя из объема затраченных средств и распределения времени отказов. В соответствии с работой [24], оценивание риска включает оценку и определение его приемлемости путем сравнения с допустимым уровнем риска.

2.6 Выводы по главе 2

Осуществлена классификация рисков для АРЗ. Предложен метод FMТА на основе карт Шухарта. Применены критерии Грабса для повышения эффективности методов оценки рисков. Предложена методика повышения точности оценки экспертных решений геометрическим методом. Представлен новый подход, по оценке стоимости затрат на поддержание ЛГ ВС с учетом рисков. Предложена оценка затрат по аналогии с линейной моделью инновационного цикла продвижения продукции на рынок. На основании данной модели, предполагается постоянство противоположного риска в процессе эксплуатации ВС, продемонстрирована возможность оценивания стоимости затрат от начала до конца эксплуатации ВС. Данный подход повышает результативность процессов оценки в системе ТОиР ВС по состоянию.

ГЛАВА 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА ПО ОСНОВНЫМ КРИТЕРИЯМ

3.1. Декомпозиция производственного процесса ремонта воздушного судна и представление вероятности перехода на основе модели состояний

Обеспечение конкурентоспособности АРЗ является важной задачей. Необходимы новые решения для построения эффективных процессов ремонта, согласно политики бережливого производства.

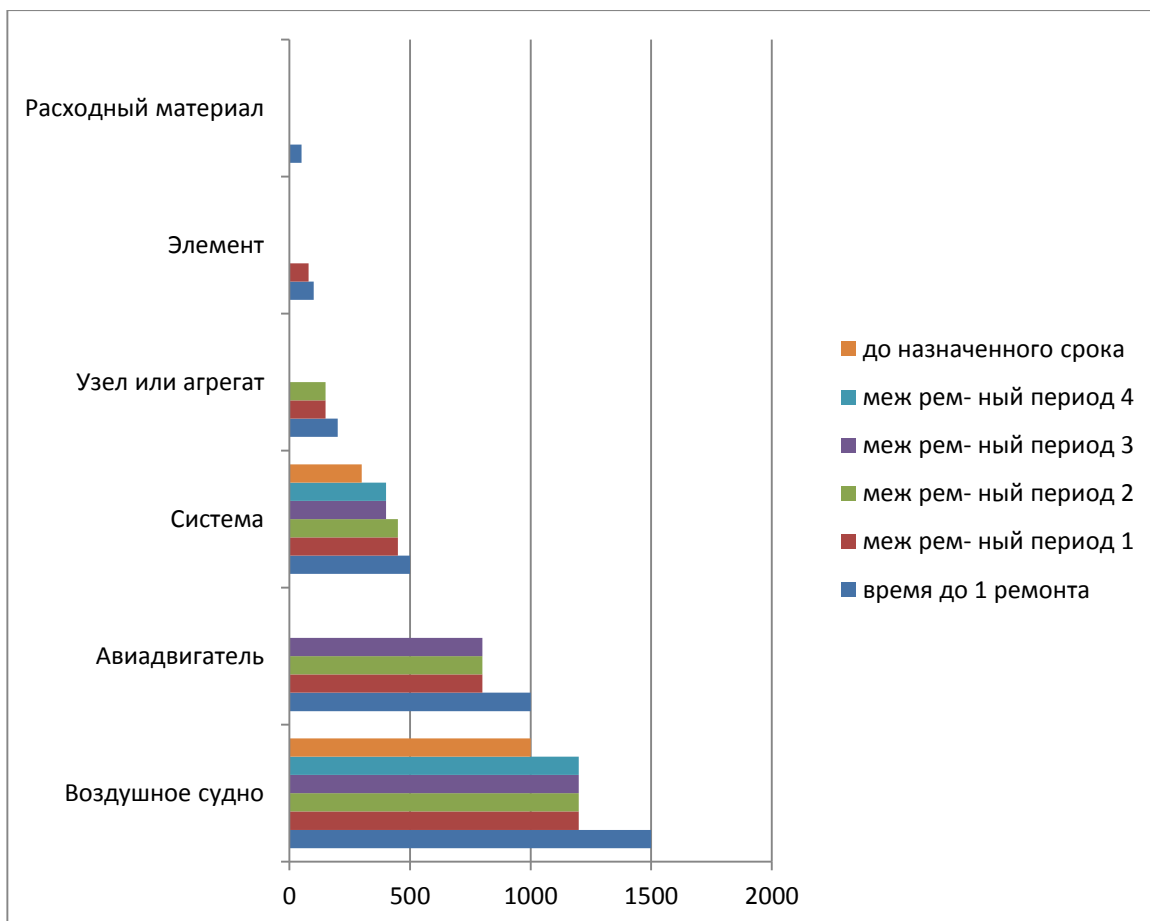


Рисунок 22 – Длительности различных по времени ЖЦ объектов ремонта за весь период эксплуатации ВС

Ремонт АТ – это комплекс работ [35]. ВС и его системы в течении жизненного цикла (ЖЦ) может находиться во множестве состояний длительность которых отражена на рис. 22.

Таблица 21 – Время межремонтных периодов

Наименование объекта ремонта	Время до 1 ремонта (усл. часов)	Межремонтный период – 1	Межрем-ый период - 2	Межрем-ый период - 4	Межрем-ый период - 6	до назначен. срока
Воздушное судно	1500	1200	1200	1200	500	500
Авиадвигатель	500	450	450	450	замена	
Отдельная система	300	200	200	200	200	200
Агрегат системы	200	150	150	замена		
Элемент агрегата	100	80	замена			
Расходный материал	50	Замена				

Так, при различных временных интервалах между ремонтами состояние и вероятность отказа АТ будет иметь различное значение, отражаясь на надежности ВС [46,60,63]. При поступлении в ремонт основным параметром ВС для (АРЗ) является остаток ресурса и техническое состояние ВС.

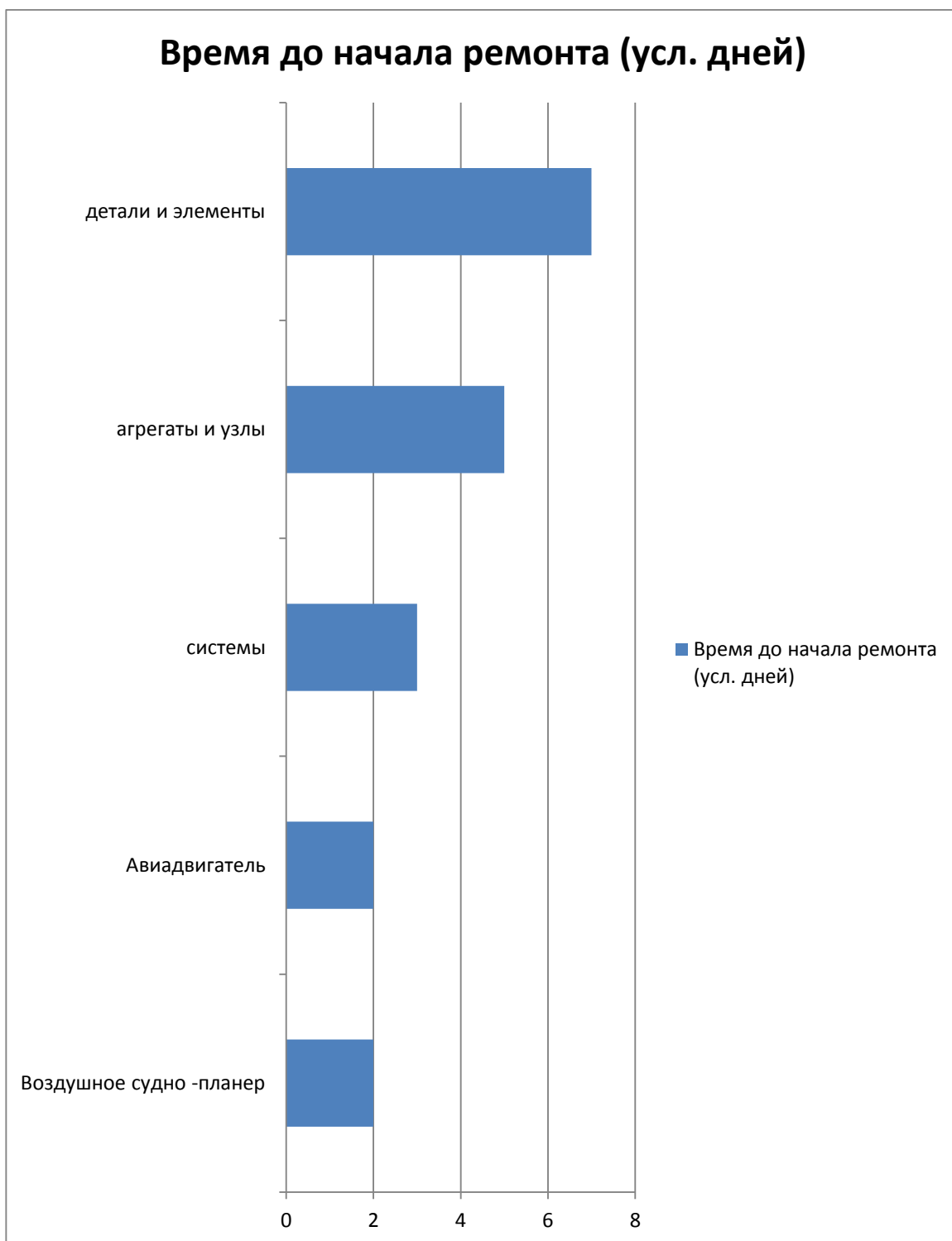


Рисунок 23 – Временной интервал до начала ремонта

Для достижения результативности процесса ремонта, следует выполнить анализ состояний, где схема процесса представлена на (рис.23).

В начале ремонта представим его как объект, как множество Ω ,

которому принадлежит $\Omega_i = \in (1..i..N)$ элементов (система, агрегат, деталь), где N – количество объектов. Все объекты, на этапе диагностики, могут иметь два состояния (неисправное и исправное), $N \in (0; 1)$. Для дальнейшего описания состояний за подмножество n - принимаются все исправные объекты, за подмножество m – неисправные.

Так, наступление очередного события или этапа будет характеризоваться начальным состоянием объекта и вероятностью его перехода в новое состояние. Определяя вероятность начального состояния при диагностике объектов, число событий появления неисправных объектов будет сочетаться комбинацией C_N^m из N по m . В таком случае вероятность появления неисправного объекта отразится уравнением [25]:

$$P_{(n,m)} = C_n^m \times q^m \times p^{n-m}, \quad (25)$$

где q и p – вероятности обнаружения неисправного и исправного объекта.

Воспользуемся теорией марковских процессов в дискретном пространстве состояний, где важным свойством процессов является эволюция вероятности перехода $P = P\{X(t) \leq x | X(t_0) = x_0\}$. Процесс без накопления неисправностей до первого отказа может быть представлен марковской цепью, так как переходные вероятности, не меняются во времени.

Для задания марковской цепи достаточно знать начальное распределение вероятностей и все вероятности переходов состояний [101]. Начальное распределение вероятностей состояний для последующего ремонта можно выразить в виде матрицы-столбца $P(0) = |P_0(\Omega_\theta)|$. Вероятности переходов описываются матрицей $P = ||P_{\mu\theta}||$, где член $P_{\mu\theta}$ представляет собой вероятность перехода системы из состояния Ω_μ в состояние Ω_θ за один шаг. Необходимо построение матрицы состояний. Матрица P может быть найдена при известной функции переходов процесса к матрице $P(X)$. В таком

случае полная вероятность каждого состояния процесса при n шагах событий будет представлена уравнением:

$$P^n(\Omega_\theta) = P(0) \times P^n. \quad (26)$$

Если возможен переход системы из одного состояния в другое за конечное число шагов, то матрица $P^n(\Omega_\theta)$ с увеличением n стремится к некоторой предельной матрице, а поскольку вся совокупность состояний представляет полную группу событий, то предельное распределение вероятностей каждого состояния, описываемое в виде матрицы-строки $\|P(\Omega_\theta)\|, \theta = \alpha, \dots, k$ можно найти, решив систему:

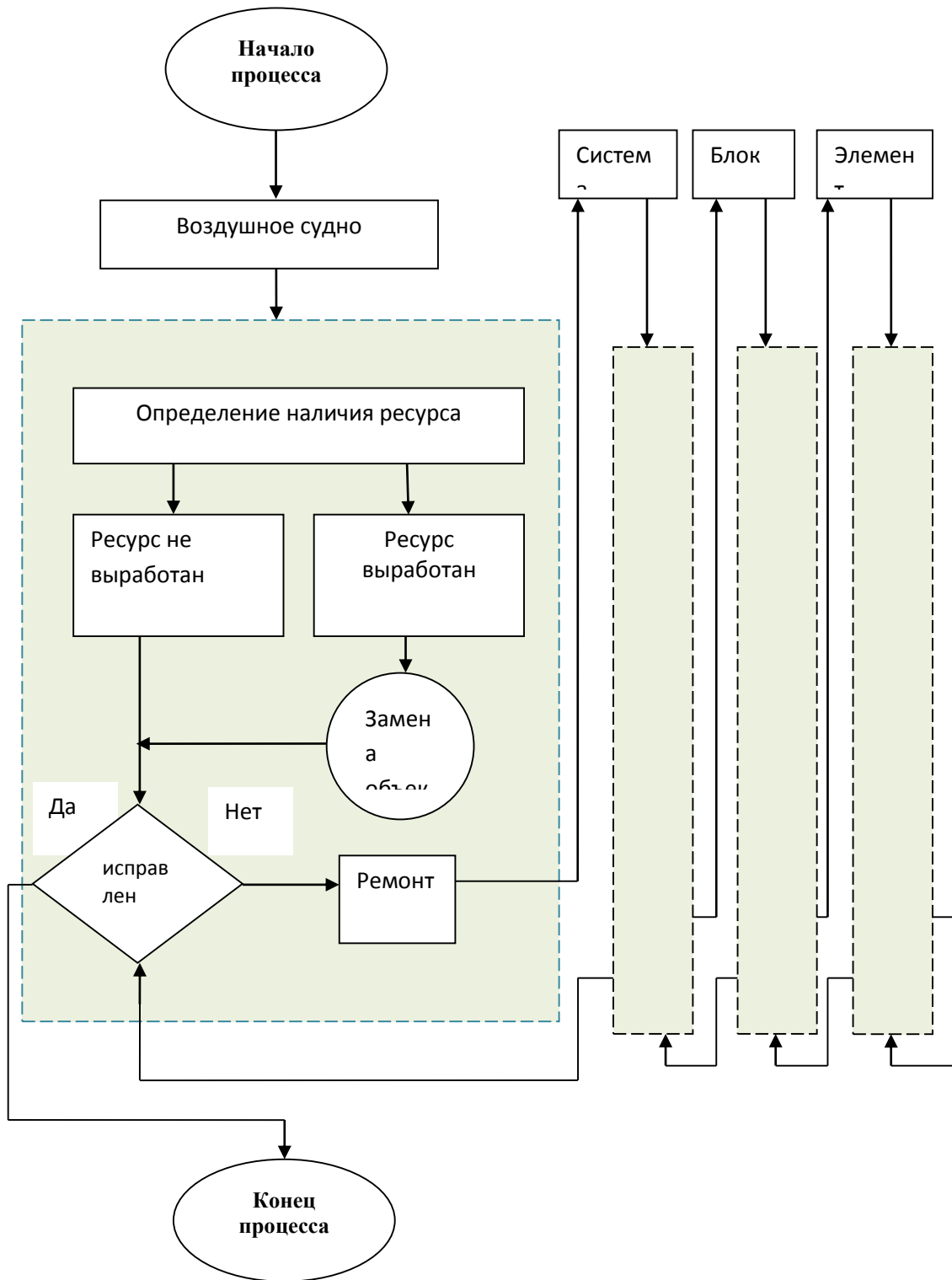


Рисунок 24 – Структурная схема процесса ремонта с учетом ресурсного подхода и требований бережливого производства

$$\sum_{\alpha=\theta}^k P(\Omega_\theta) = 1; \quad ||P(\Omega_\theta)|| \times ||P_{\mu\theta}|| = ||P(\Omega_\theta)||, \quad \alpha \leq \mu, \theta \leq k \quad (27)$$

Описаны начальные состояния и условий перехода. Определена вероятность перехода в зависимости от шага временного интервала.

Несмотря на производимый учет остаточного ресурса ВС, как до первого ремонта так и до последующих, хаотичность и динамика расхода ресурса при эксплуатации в неритмичных условиях, существует необходимость в более полном установлении состояния объектов ремонта для повышения эффективности процессов ремонта ВС на АРЗ.

Структурная схема (рис.24), описывает траекторию процесса ремонта. Решающим критерием оценки начального состояния, является определение остаточного ресурса как фактора влияния на вероятность обнаружения неисправности [70,79]. При этом имеется необходимость в решении задачи влияния и оценки критических показателей объекта ремонта по условию близости остаточного времени к окончанию ресурса. Подвергаемые диагностике объекты (блоки, приборы, системы) $\Omega_{k,n}$ сосредоточены во множестве параметров отдельной системы $S_k = \{S_{1l}, S_{2l}, \dots, S_n\}$, при этом формируя $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_1, \dots, \Omega_n\}$ - множество всех параметров объектов ремонта ВС, где k - количество параметров контроля на -шаге операции диагностики. На этапе диагностики каждое множество S_k будет подвержено определенной проверке n_i , сочетающей в себе набор стендового и лабораторного оборудования $N = \{n_1, n_2, \dots, n_s\}$, реализуя алгоритм проверки согласно структурной схеме, где j – количество методик проверок.

Очередной этап предусматривает порядок решения алгоритма определения критерия исправности объекта, основанного на зависимости от близости к критической границе ресурса, реализуемого как $A(\omega_k) \rightarrow C$, где C – множество количественных оценок параметра объекта. Это позволяет определить произвольный параметр $\omega_k \in \Omega_k$, где $\Omega_k = \{\omega_{k1}, \omega_{k2}, \dots, \omega_{ki}\}$ и является множеством критических параметров, i – количество определяемых критических параметров, которое разбито на j категории. В результате

идентификации получаем принадлежность контролируемого параметра в зависимости от его численного значения к определенной области из множества S и присваиваем ему соответствующую качественную оценку, допускающую отображение в заданном виде.

Сокращенная программа процесса может быть представлена как последовательность операций:

- 1- сосредоточение информации данных ВС;
- 2- выставление границы значений критических параметров на соответствие ресурсу;
- 3- установление значения критического остатка ресурса;
- 4- определение значений критических параметров в критерии.

Данный порядок оценки контролируемых параметров, позволяет внести поправки в траекторию процесса, сократить время процесса и представить критерии надежности [70,11]. Предлагаемая методика позволяет влиять на траектории процесса с учетом количественной оценки ресурса и его влияния на вероятность проявления неисправности объекта.

3.2. Совершенствование процесса ремонта на основе сокращения времени производственного цикла

Важным показателем процесса, является скорость. Рассмотрим факторы сдерживающие развитие, такие как:

- большое количество технически сложных операций;
- низкая степень автоматизации процессов ремонта ВС;
- различные траектории объекта в процессе ремонта.

Обеспечение качества процесса ремонта ВС, зависит от полноты и достоверности выявленного состояния объекта [50,62,64,66].

Так календарный график выхода в ремонт основывается на вероятности P_i и плотности распределения σ_j отказов соответствующих элементов. Одним

из эффективных видов управления является процессный подход [11]. В качестве объекта ремонта рассмотрим ВС. Ремонт, предусматривает прохождение нескольких этапов:

демонтаж (C_1), сверка наработки (C_2), подготовка (C_3), разборка (C_4), диагностика (C_5), замена (ремонт) (C_6), сборка (C_7) и контроль (испытания) (C_8). Представим процесс N_i объекта i в виде последовательности. Представим его в виде:

$$C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8\}. \quad (28)$$

Тогда общий временной показатель процесса можно выразить как:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \dots t_n, \quad (29)$$

где T – общее время ремонта узла или агрегата;

t_{imax} – время затраченное на каждый этап.

Таблица 22 – Временные показатели процесса для выбранного объекта

№	Рабочий процесс, C_i	Нормы по ремонту агрегата, н/час, t_{imax}	%, времени от общего объема T
1	Демонтаж	-----	-----
2	Сверка	-----	-----
3	Промывка	1,5	11,5
4	Разборка	1,3	10
5	Дефектация	2,0	15,5
6	Ремонт	1,6	12,2
7	Сборка	6,6	50,8
	Итого	13	100
8	Испытание (летное)	-----	-----

Сокращенное время отразим через Δt_i где применен подход, согласующийся с теорией Голдрата [51]. Согласно заводской статистике, имеется рост отказов электро-инерционного стартера, типа РИМ-У-24ИР на самолете Ан-2, где нормы времени отражены в таблице 22. Кривая на графике 25 отражает, 20% от всех операций имеют максимальное время T_{max} .

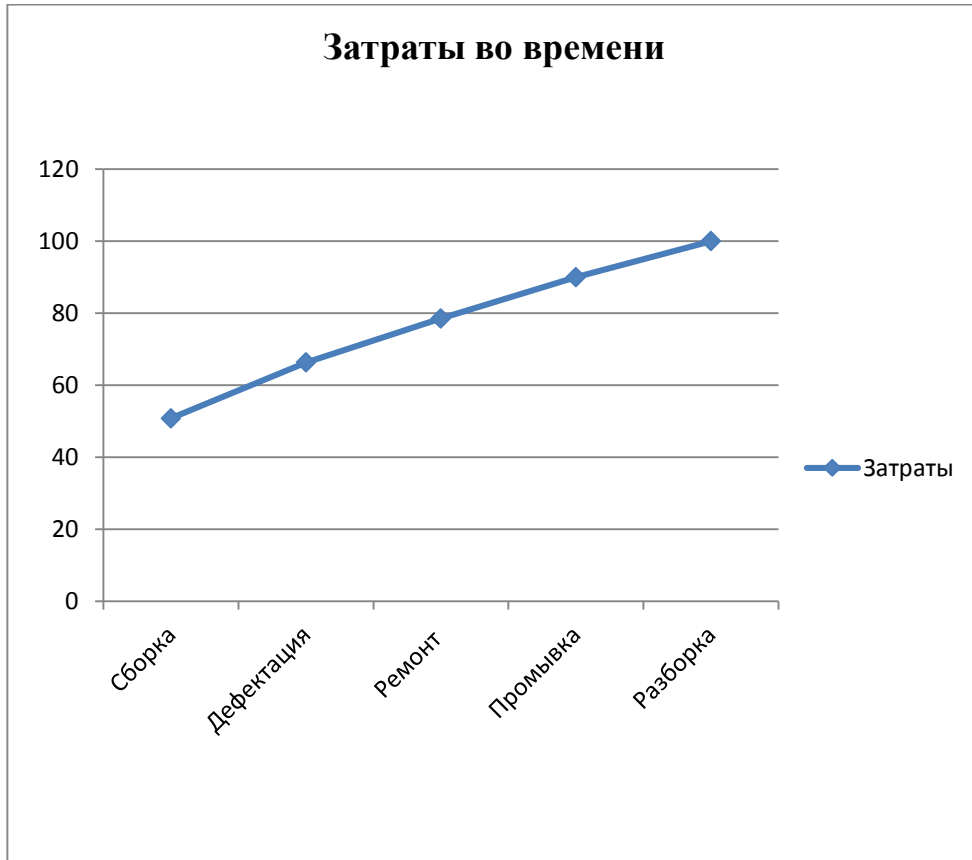


Рисунок 25 – Диаграмма кривой затрат времени на этапах ремонта

Применение современных подходов позволяет минимизировать время процесса ремонта для рассматриваемого объекта:

$$F(t_{imax}) \rightarrow \min(t_i) = \Delta t_i \quad (30)$$

Определяя подвергаемые ремонту изделия с наибольшими временными затратами t_{imax} и применяя новые решения можно получить снижение времени процесса ремонта. Процесс оптимизации «узких мест» t_{imax} , может повторяться неоднократно. Оптимизация времени одного этапа, требует синхронизации множества других операций множества $\Omega = \{n_i \dots n_k\}$ объектов ремонта ВС. Все процессы следует «настроить» в режиме JIT[29]. Учитывая наличие ручных работ [87] и рассредоточенность, применение запаса времени необходимо.

Сокращая показатель затрат t_{imax} операций до минимально допустимого значения t_{imin} можно получить новый результат. Представим траекторию в виде математической модели, где шаг операции есть вектор состояния, начального \overline{C}_n и конечного \overline{C}_k состояний. Влияние инновации есть управляющий вектора \overline{f}_i для каждого шага, тогда общий процесс управления будет выглядеть как,

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_n), 0 < F. \quad (31)$$

Как ранее было указано показателем оптимизации выступает t_{imax} , формируя общий временной показатель процесса T ,

$$T = (t_{1max} + t_{2max} \dots + t_{kmax}), 0 < k, \quad (32)$$

где t_{1max} – затраты на первом шаге процесса,

k – количество шагов.

Исходя из «принципа оптимальности», решения должны быть оптимальны относительно состояния полученного в результате первого. В этом случае базовое уравнение будет представлять собой,

$$t_{max} = \max_{1 \leq i \leq k} (t_i^0 - \Delta t_i(q_i)) \rightarrow \min, \sum_{i=1}^N q_i \leq F, \quad (33)$$

Определим все состояния процесса в состояниях перехода от C_1 до C_8 , где при первом воздействии управляющего вектора f_1 , процесс переходит из состояния C_0 в состояние C_1

$$C_1 = C_1(C_0, f_1), 0 \leq f_1 \leq F, f_1 \in F, \quad (34)$$

где результирующая функция будет представлять собой $g_1(C_0, f_1)$. На втором этапе под действием управляющего вектора f_2 , объект перейдет из состояния C_1 в состояние C_2 , представляя выражение,

$$C_2 = C_2(C_1, f_2), 0 \leq f_2 \leq F, f_2 \in F. \quad (35)$$

На данном этапе результирующей функцией является $g_2(C_1, f_2)$. Переходя от этапа к этапу при воздействии векторов f_i , на завершающей стадии, объект ремонта придет к конечному состоянию C_8 после C_7 , отражаясь в виде уравнения,

$$C_8 = C_8(C_7, f_8), 0 \leq f_8 \leq F, f_8 \in F, \quad (36)$$

где результирующая функция будет представлять собой $g_8(C_7, f_8)$.

Задача управления заключается в максимальной сжатии времени. Определим оптимальное управление с помощью алгоритма обратной прогонки. С этой целью будет применена последовательность функций $\{G_k(y)\}, k = 1, N$. Каждая функция включает в себе задачу минимального времени копераций при оптимальных управляющих воздействиях $f, 0 \leq f \leq F$:

$$G_k(q) = \max_{1 \leq i \leq k} (t_i^0 - \Delta t_i(q_i)) \rightarrow \min \quad (37)$$

Но на этапах подготовки, диагностирования и ремонта оптимизация достигается на этапе сверки наработки, где уравнение для конкретных k операций, минимальное время составит

$$G_k(C_k) = \min_{1 \leq q_k \leq k} [\max(t_i^0 - \Delta t_i(q_i), G_{k+1}(C_k))]. \quad (38)$$

Время на этапе контроля (испытаний) останется без изменений $t_3, t_8 = const$.

Начиная с этапа сборки уравнение будет определяться функцией Беллмана,

$$G_7(C_7) = \min_{1 \leq q_7 \leq k} (t_7^0 - \Delta t_7(q_7)), \Delta t_7 \geq 0, q_7 \in F. \quad (39)$$

Дальнейшее определение уравнений начиная для операций сборки C_7 , выполняются согласно рекуррентному соотношению связывая функцию Беллмана [19] с той же функцией определенной ранее:

$$G_6(C_6) = \min_{1 \leq q_6 \leq k} [\max(t_6^0 - \Delta t_6(q_6), G_7(C_6))], \Delta t_6 \geq 0, q_6 \in F \quad (13)$$

$$G_k(C_k) = \min_{1 \leq q_k \leq k} [\max(t_i^0 - \Delta t_i(q_i), G_{k+1}(C_k))]. \quad (40)$$

Определяя оптимальные решения на каждом этапе процесса ремонта, обеспечивается минимизация время процесса ремонта.

3.3. Повышение качества ремонта авиационной техники на основе оценки достоверности показателей контроля

Одной из основных авиационных систем является система электроснабжения [93]. Они включают большой перечень устройств и агрегатов [15]. Наиболее ответственными элементами системы электроснабжения АТ, являются источники электроэнергии, генераторы токов. Превышение интенсивности отказов у генераторов постоянного тока над генераторами переменного тока, вызывает необходимость в обеспечения высокой надежности системы постоянного тока [25].

Для выполнения качественного ремонта узлов и систем АТ необходима адекватная оценка состояния объекта ремонта, критериальным показателем которого, может являться достоверность. Разработка новых методов и моделей оценки достоверности контроля обеспечит совершенствование процессов ремонта на АРЗ [18,20].

Достоверность это степень соответствия результатов диагностирования действительному состоянию объекта. [34]. С целью установления соответствия техническим условиям, показатели должны быть измеримы и изменяемы, согласно требованиям [48], а процессы должны выполняться в управляемых условиях[14]. Количественные показатели N достоверности контроля D , должны быть ключевыми характеристиками по установлению способности как дальнейшей эксплуатации, так и установления вероятности P появления неисправности. Достоверность контроля отражается показателями в табл.23.

Таблица 23 – Критерии достоверности контроля

Виды достоверностей	Показатели достоверностей					
	Инструментальная	Количество параметров	N	Статическая характеристика	α, χ, γ	Погрешности измерения
Методическая	Полнота контроля	H	Режимы контроля	μ	Методические ошибки измерения	$\Delta\varphi$
Алгоритмическая	Время	T	Порядок выбора параметра	k	-----	----
Избирательная	Количество управляющих воздействия					Y
Прогнозирующая	Качество прогнозов за время контроля					S

Опираясь на табл.1 и согласно уравнению 3.1 [55], результирующей достоверностью является произведение всех представленных и установленных видов достоверностей:

$$D = D_{II} \times D_M \times D_A \times D_{Изб} \times D_{II}, \quad (41)$$

где, D_{II} – инструментальная достоверность;

D_M – методическая достоверность;

D_A – алгоритмическая достоверность;

$D_{Изб}$ – избирательная достоверность;

D_{II} – прогнозирующая достоверность;

В процессе ремонта и оценки контроля, качество решений оценивается вероятностью ошибки, в связи с этим необходимо представить достоверность контроля как функцию вероятностей ошибок [47].

$$D = 1 - P_{ош}, \quad (42)$$

где $P_{ош}$ – вероятность ошибки при контроле.

В рассматриваемом случае вероятность ошибки равна сумме рисков:

$$P_{ош} = P_P + P_H, \quad (43)$$

где P_P – вероятность признания работоспособного ОК неработоспособным;

P_H – вероятность признания не работоспособного ОК работоспособным.

Примем, что до проведения контроля вероятность ошибки равна вероятности признания неработоспособного ОК работоспособным, тогда достоверность контроля можно выразить как:

$$D = 1 - P_H, \quad (44)$$

В процессе ремонта авиационной техники одним из важных показателей достоверности является полнота контроля, которая выражается:

$$H = n/N, \quad (45)$$

где n – количество параметров участвующих в процессе контроля;

N – общее число параметров вектора состояния ОК.

При условии контроля множества параметров ОК, вероятность признания работоспособного ОК неработоспособным будет определяться:

$$P_p = \prod_{i=1}^n (P_{p_i} + D_{o_i}) \prod_{i=n+1}^N P_i - \prod_{i=1}^n D_{o_i} \prod_{i=n+1}^N P_i, \quad (46)$$

где D_{o_i} - достоверность показаний по i -му параметру объекта,

P_i - вероятность безотказной работы ОК по i -му параметру.

А вероятность признания неработоспособного ОК работоспособным определяем, как:

$$P_H = \prod_{i=1}^n (P_{H_i} + D_{o_i}) - \prod_{i=1}^n D_{o_i} \prod_{i=n+1}^N P_i \quad (47)$$

В этом случае, оценка достоверности будет выглядеть как:

$$D = 1 - \prod_{i=1}^n (P_{p_i} + D_i) \prod_{i=n+1}^N P_i - \prod_{i=1}^n D_i \prod_{i=n+1}^N P_i \quad (48)$$

Если отказ ОК примем как случайную величину X , а интенсивность отказов λ за период времени T представим как функцию распределения $\lambda(t)$ рис.1, то вероятность попадания отказа X при контроле в определенную область $\Omega \in (d + \Delta d)$, представляющую границы допуска S технических характеристик ОК, можно выразить через плотность распределения, представляя собой сумму вероятностей на участке $P(t < X < \Delta t)$.

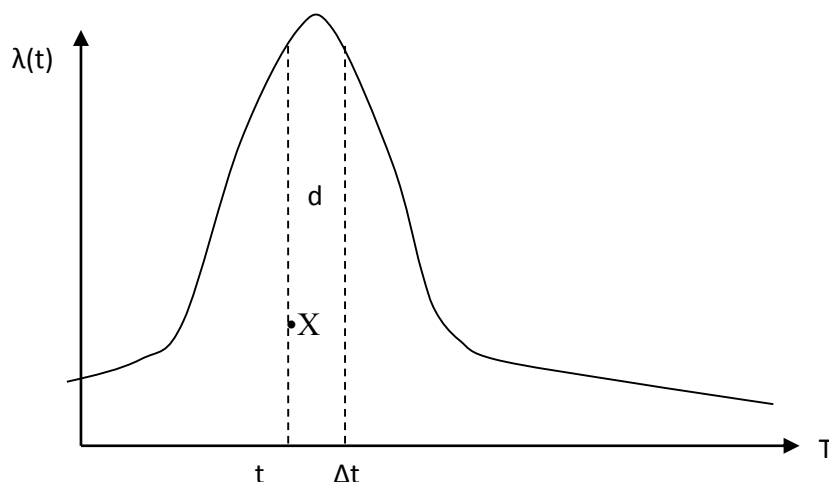


Рисунок 26 – Расположение случайной величины X на области допусков d

В этом случае функцию распределения отказа, как случайной величины представим в виде,

$$\lambda(t) = d \text{ при } \lambda(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ d^2 & \text{при } t < X < \Delta t \\ 0 & \text{при } X > \Delta t \end{cases} \quad (49)$$

Используя показатели в таблице 24 из источника [101], вероятность отказа на выбранном диапазоне контроля, будет выражаться как,

$$P(0,02 < X < 0,028) = f(0,028)^2 - f(0,02)^2 = (0,028)^2 - (0,02)^2 = 0,38 \cdot 10^{-3}$$

Для технической реализации процесса контроля, применим метод построения матрицы отказов согласно [37], для составных неразъемных частей генератора постоянного тока СТГ-12ТМО.

Таблица 24 – Технические характеристики генератора СТГ-12ТМО

Параметры / Режимы	Режим генератора	Режим стартера
Номинальное напряжение, В	-28,5В,	30 В,
Ток номинальный, А	-400А	-470А
Сопротивление обмоток: Ом		
-якоря	0,0041 Ом $\pm 6\%$	
-возбуждения	1,284 Ом $\pm 6\%$	
-дополнительных полюсов	0,0013 Ом $\pm 6\%$	
-компенсационных	0,0015 Ом $\pm 7\%$	
Допустимое биение вала, мм	$\leq 0,02$ мм	
Допустимое биение коллектора, мм	$\leq 0,008$ мм	
Высота щетки, мм	≥ 18 мм	
Усилие пружины щеткодержателя, гс	$\leq 850 - 1000$ гс.	

В таблице 25 отражены контролируемые и неконтролируемые параметры контроля для каждого элемента.

Таблица 25 – Матрица поиска отказа

Ген-р СТГ-12ТМО	Ток, А	Напр .,U	Эл.сопр , Ом	Длина, мм	Биение ,мм	Вн. вид	Усилие , гс
Щетки - Щ	0	0	0	1	0	1	1
Коллектор - К	0	0	0	0	1	1	0
Обмотка якоря - ОЯ	1	1	1	0	0	1	0
Обмотка возбужд. - ОВ	1	0	1	0	0	1	0
Доп.полюса - ОДП	0	0	1	0	0	1	0
Компенсац. Обмотка - КО	0	0	1	0	0	1	0
Пружина щетки - ПрЩ	0	0	0	0	0	1	1

Примечание: 1-годен для контроля, 0 – негоден.

В практической плоскости процесс контроля состояния объекта ремонта, поиск может выполняться согласно алгоритму (рис.27) на основании матрицы поиска отказа, представленному в таблице 25.

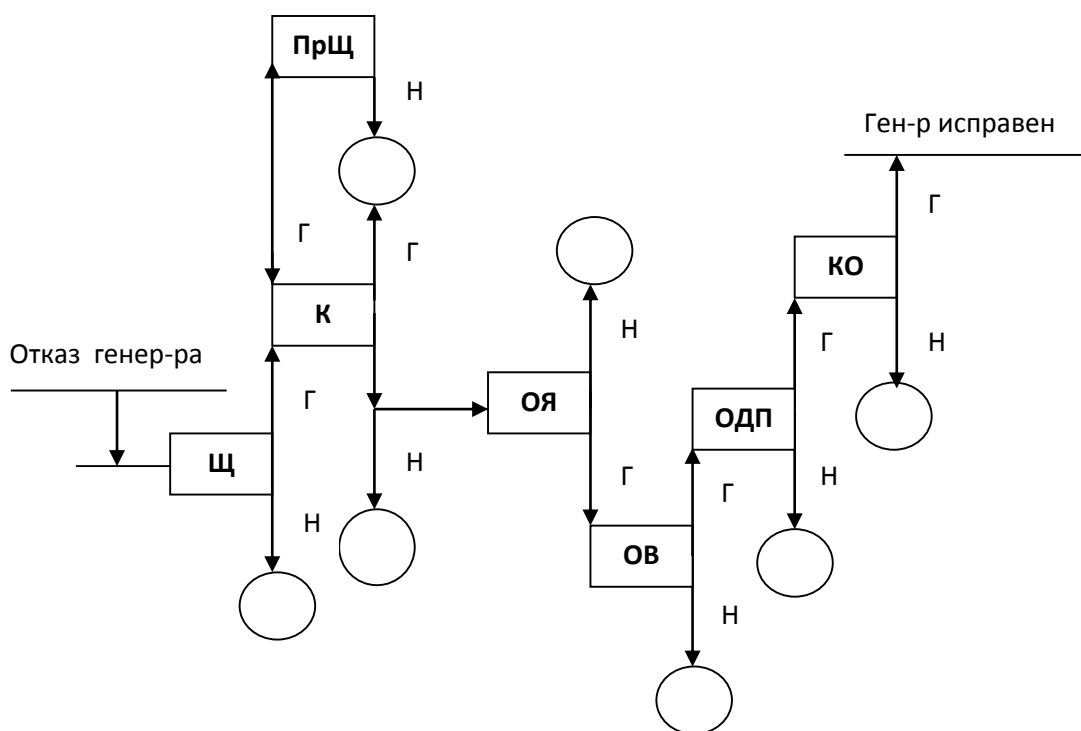


Рисунок 27 – Алгоритм поиска неисправности согласно матрице отказов
Н-негоден, Г-годен, Р-ремонт, З-замена

Данный принцип, поиска неисправности согласно матрицы отказов, может быть распространен на другие устройства и агрегаты АТ.

3.4. Система оценки состояния контролируемого параметра аппаратуры на основе нечеткой логики

Расширенный контроль динамики изменения отдельных параметров критичного элемента, позволил бы точнее определять общее состояние и тенденцию развития и момента наступления отказа. Так, для механических элементов характерны, повреждения поверхностей или превышение определенной степени зазоров в местах рабочих поверхностей, характеризующихся полями допуска и посадки [57]. Для электрических и радиотехнических систем, характерны короткие замыкания в цепях питания или схемах соединения, пробой изоляции и превышение рабочего

температурного диапазона при протекании токов больше допустимого значения и т.д.

Общая надежность технического объекта зависит от надежности его самого слабого звена, но при отказе основных (критичных) агрегатов, надежность второстепенных уже не имеет значения. Так, электрические генераторы, являясь основным источником электроэнергии, обеспечивают не только генерацию тока, но и его потребление, работая в режиме электромеханического стартера для раскрутки вала авиадвигателя при запуске. При достаточно широком эксплуатационном диапазоне, генераторы имеют свои технические параметры ограничения.

Для режима генератора / стартера

Ном. напряжение - 28,5В, / Ном. напряжение - 24 ;

Ток. номинальный - 400А/ Ток. номинальный - 470А;

Рабочий температурный диапазон $\pm 60 \text{ C}^0$;

Сопротивление обмоток – Якоря (0,0041 Ом), Возбуждения (1,284 Ом);

Допустимое биение - вала $\leq 0,02$ мм, - коллектора $\leq 0,008$ мм;

Высота щетки ≥ 18 мм.

Время работы в стартерном режиме - не более 30 сек

Допустимая минимальная высота щетки – 15 мм

Несмотря на надежность конструкции, генератор имеет свой список различных причин приводящих к его отказу, которыми являются: повреждение изоляции приводящее к короткому замыканию обмоток и обрыв проводов, износ и прогар ламелей коллектора, износ и облом токоведущих щеток, заклинивание и повреждение подшипников и др. Факторами влияния, на изменение состояния и приводящие к отклонению от нормы, являются: жесткие приземления ВС, вибрация двигателя, сверх предельные электрические нагрузки, запыление и засорение щеточно-коллекторного узла, неточная центровка вала генератора и его привода и др.

Контроль за состоянием генератора, основан на периодическом осмотре щеточно-коллекторного узла, а также полной разборке генератора, что происходит только при выполнении объемных регламентных работ, через большой промежуток времени. Анализ сигналов поступающих от датчиков контроля, позволил бы бортовым вычислительным системам выдавать соответствующие консультативные решения, как для эксплуатанта, так и для авиаремонтных заводов и при необходимости заводам изготовителям. Наличие разброса рабочих параметров генератора, как например номинального и стартового тока, времени в режиме стартера и генератора требует использовать метод, имеющий логический подход при таких рассредоточенных данных.

Оценка состояния объекта, на основе контроля параметров в поле допуска, может быть переложена на машинные логические системы, оперирующих «рассредоточенными» данными. Так, для поддержки принятия решения по выводу агрегатов в ремонт, предлагается использовать метод нечеткой логики, которой имеет применение и в других отраслях [48,71]. Различные контролируемые параметры одного объекта контроля, представлены в виде нечетких лингвистических переменных.

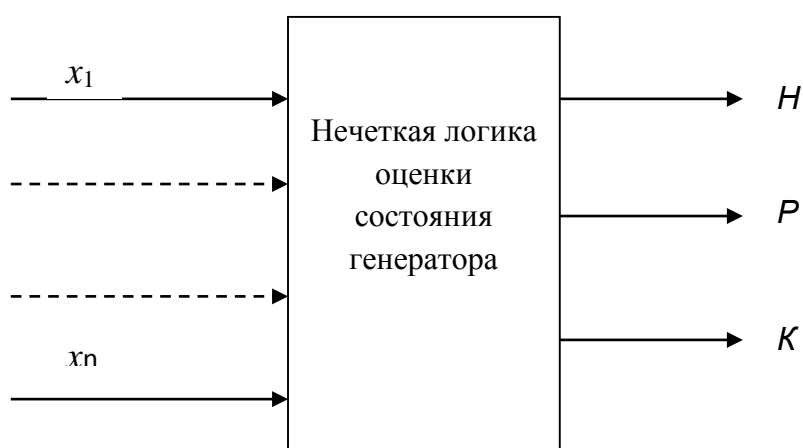


Рисунок 28 – Система нечеткой логики реализующая функцию принадлежности

Нечеткая переменная имеет область определения или существующие ограничения, которые выражаются функцией принадлежности на основании характера поведения [27]. Так, множество значений лингвистической переменной (*пример - количество*) представляет собой множество терм (нечетких переменных) этой переменной (*пример - очень мало, незначительно, достаточно, значительно, много, очень много*). Таким образом, присваивая лингвистическим переменным наименования контролируемых параметров, также следует задать и множество терм. Термы представят количественные значения оцениваемых параметров также в лингвистической форме.

Классическая логика значения истинности, оценивается двухзначной шкалой $I = \{0;1\}$ при этом нечеткая логика предполагает наличие промежуточных значений истинности, со шкалой значений имеющих сложную структуру. Обработка параметров производится методом классификации состояния, реализуя функции принадлежности μ_{i_k} . Функции принадлежности μ_{i_k} представляющие собой трапециидальные формы отражают значения, соответствующие определенному терму (мало, достаточно, много) означающее область состояния объекта [112]. В итоге, лингвистический «ответ» χ_{i_k} на основании решения функции принадлежности, будет являться обоснованно - консультативным для принятия решения.

В работах [65,85] представлена системы контроля состояния и оценки с алгоритмом нечеткой логики. Представим параметры электрического генератора, как лингвистические переменные в системе нечеткой логики в формализованном виде как показатели оценки:

x_1 - частота вибрации генератора $f_{\text{вibr.ген}}$ (можно использовать данные датчика вибрации двигателя в период его работы, генератор жестко закреплен на корпусе двигателя);

x_2 - частота вращения вала $f_{\text{ген}}$ (можно измерить через передаточное отношение привода к частоте вращения вала компрессора двигателя,;

x_3 - величина биения вала генератора $h_{\text{откл.вал}}$ (только в стендовых условиях);

x_4 - величина биения коллектора $h_{\text{откл.колл}}$ (только в стендовых условиях);

x_5 - величина выходного напряжения $U_{\text{вых.ген}}$ (на выходных клеммах);

x_6 - напряжение питания обмотки возбуждения $U_{\text{ОВ}}$ (на клеммах ОВ);

x_7 - ток якоря – $I_{\text{нагр}}$ (на нагрузочной шине);

x_8 - яркость свечения искры на ламелях коллектора – $L_{\text{кд}}/м^2$ (ранее не применялся);

x_9 - количество ударных перегрузок n .

x_{10} - время работы в стартерном режиме $t_{\text{ст}}$.

Таблица 26 – Параметры принятые для контроля

Параметр	Рабочий диапазон	Критическое значение	Диапазоны переходов
Ток якоря	470-510 А	Свыше 510 А	450-470; 470-510; 510-550
Время в стартерном режиме	0-40 секунд	Свыше 40 секунд	0-30; 30-40; 40-50
Температура обмотки якоря	От +50 до +60 С ⁰	Свыше +60С ⁰	0-40; 40-50; 50-60
Яркость свечения искры	550-650 кд	Более 650кд	450-550;550-650; 650-750

Для оценки методом нечеткой логики используем параметры, существенно характеризующие состояние электрического устройства, каким является генератор с соответствующими параметрами переходов между термами (табл. 26). Такими параметрами выступают: ток в цепи якоря $I_{\text{я}}$, время работы стартерном режиме $t_{\text{ст}}$, температуру коллектора $T_{\text{к}}$ и яркость искрообразования $l_{\text{и}}$. Структурная схема такой системы (рис 29), представляет собой преобразователь входных контрольных параметров в характеризующую лингвистическую переменную, имеющую свою градацию и диапазон выражающий текущую оценку объекта контроля. Выходные показатели - термы лингвистической переменной, означают фактической состояние, H – номинальное состояние (без нагрузки) - χ_{iN} , P – рабочее (под нагрузкой) - χ_{iW}

и K – критическое - χ_{ic} (превышающее пределы установленных ограничений). Так, состояние объекта контроля, будет оцениваться результирующей суммой векторов, четырех выбранных параметров .

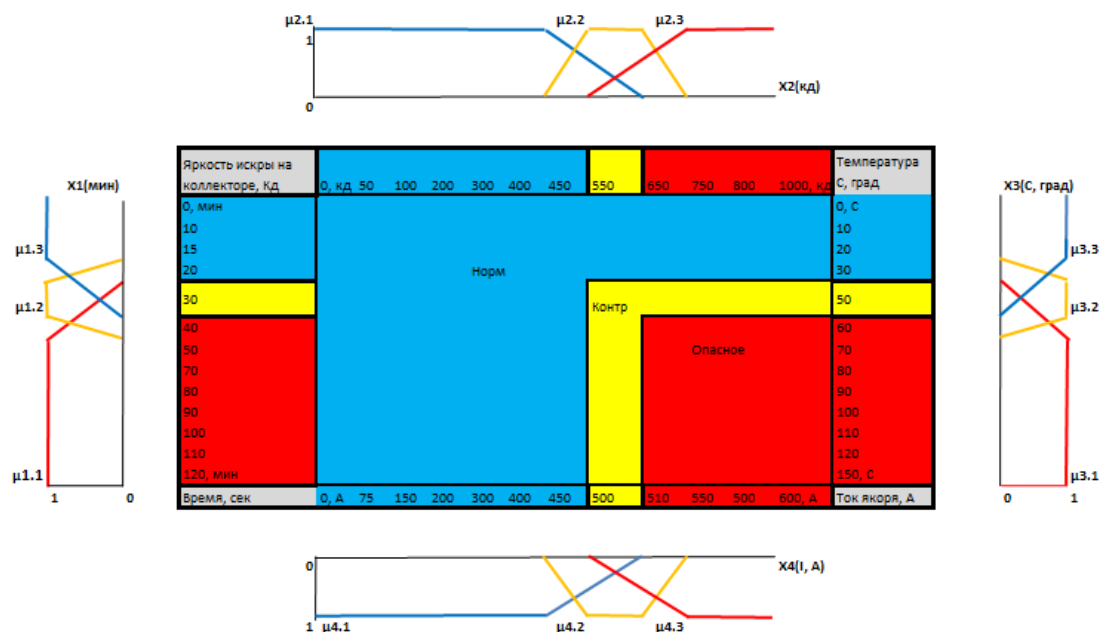


Рисунок 29 – Реализация зависимостей параметров контроля в функции принадлежности

Система оценки состояния генератора, может характеризовать его по его текущим параметрам, применяя нечеткую логику решения. При расположении контрольных параметров в рабочей зоне, система характеризует состояние как номинальное - Н, если параметры близко к критическим, либо близко к предельно нормативному времени, система оценки определяет состояние как требующее текущего контроля динамики развития – К. При превышении критических значений, нечеткий классификатор оценки состояния, выдает сигнал о достижении или пересечении опасной критической точки – О. Учитывая что генератор, является высоконадежным и одновременно очень важным агрегатом энергетической системы, отказ которого может серьезно отразиться на завершении полета ВС, то наличие такого параметра контроля как сила тока в обмотке якоря, может быть не достаточным.

Для генератора постоянного тока, основным выходным параметром при стабильном выходном напряжении является ток. Так в режиме генерации, номинально допустимый нагрузочный ток на коллектор генератора составляет 400А, в режиме стартера – ток будут иметь максимальное значение 470А. Эти значения, предполагаются при нормальной работе генератора, но они могут и увеличиться в случае отказа второго параллельного генератора, начала износа щеток или подгорания ламелей коллектора и межвиткового замыкания якорной обмотки приводящей к уменьшению ее электрического сопротивления.

$$\mu_{1.1}(x) = \begin{bmatrix} 0, & 0 \leq x \leq 30 \\ (x - 30)/(30 - 0), & 0 \leq x \leq 30 \\ 1, & 30 \leq x \\ (40 - x)/(40 - 30), & 30 \leq x \leq 40 \\ 30, & 40 < x \end{bmatrix},$$

$$\mu_{1.2}(x) = \begin{bmatrix} 0, & 0 \leq x \leq 20 \\ (40+x)/(40-30), & 20 \leq x \leq 30 \\ 1, & 30 \leq x \leq 40 \\ (50 - x)/(50 - 40), & 40 \leq x \leq 50 \\ 0, & 50 \leq x \leq \infty \end{bmatrix}, \quad (50)$$

$$\mu_{1.3}(x) = \begin{bmatrix} 1, & 0 \leq x \leq 40 \\ (50 - x)/(50 - 40), & 40 \leq x \leq 50 \\ 0, & 50 < x \end{bmatrix}.$$

Опираясь на характер графика поведения каждой термы лингвистической переменной, опишем функции принадлежности для контролируемых параметров. Так, для каждой лингвистической переменной будет иметь место три функции принадлежности к состоянию. Практическая реализация решения функций принадлежности в виде программных приложений, представлялась в работе [129]. Примеры системы нечеткой логики где задача состоит в реализации максимального количества правил вывода, были и в работах [131, 137].

Функции принадлежности времени в режиме запуска двигателя, будет выражена как, Функции принадлежности тока якоря,

$$\begin{aligned}
\mu_{2.1}(x) &= \begin{bmatrix} 0, & 0 \leq x \leq 450 \\ (x - 450)/(450 - 0), & 0 \leq x \leq 450 \\ 1, & 450 \leq x \\ (470 - x)/(470 - 450), & 450 \leq x \leq 470 \\ 450, & 470 < x \end{bmatrix}, \\
\mu_{2.2}(x) &= \begin{bmatrix} 0, & 0 \leq x \leq 450 \\ (510+x)/(510-470), & 450 \leq x \leq 470 \\ 1, & 470 \leq x \leq 510 \\ (550 - x)/(550 - 510), & 510 \leq x \leq 550 \\ 0, & 550 \leq x \leq \infty \end{bmatrix}, \\
\mu_{2.3}(x) &= \begin{bmatrix} 1, & 0 \leq x \leq 510 \\ (550 - x)/(550 - 510), & 510 \leq x \leq 550 \\ 0, & 550 < x \end{bmatrix}.
\end{aligned} \tag{51}$$

Функции принадлежности температура коллектора,

$$\begin{aligned}
\mu_{3.1}(x) &= \begin{bmatrix} 0, & 0 \leq x \leq 40 \\ (x - 40)/(40 - 0), & 0 \leq x \leq 40 \\ 1, & 40 \leq x \\ (50 - x)/(50 - 40), & 40 \leq x \leq 50 \\ 40, & 50 < x \end{bmatrix}, \\
\mu_{3.2}(x) &= \begin{bmatrix} 0, & 0 \leq x \leq 40 \\ (50+x)/(60-50), & 50 \leq x \leq 60 \\ 1, & 50 \leq x \leq 60 \\ (70 - x)/(70 - 60), & 60 \leq x \leq 70 \\ 0, & 70 \leq x \leq \infty \end{bmatrix}, \\
\mu_{3.3}(x) &= \begin{bmatrix} 1, & 0 \leq x \leq 60 \\ (70 - x)/(70 - 60), & 60 \leq x \leq 70 \\ 0, & 70 < x \end{bmatrix}.
\end{aligned} \tag{52}$$

Функции принадлежности яркости искрообразования,

$$\mu_{4.1}(x) = \begin{bmatrix} 0, & 0 \leq x \leq 450 \\ (x - 450)/(450 - 0), & 0 \leq x \leq 450 \\ 1, & 450 \leq x \\ (550 - x)/(550 - 450), & 450 \leq x \leq 550 \\ 450, & 550 < x \end{bmatrix}$$

$$\mu_{4.2}(x) = \begin{bmatrix} 0, & 0 \leq x \leq 450 \\ (550+x)/(650-550), & 550 \leq x \leq 650 \\ 1, & 550 \leq x \leq 650 \\ (750-x)/(750-650), & 650 \leq x \leq 750 \\ 0, & 750 \leq x \leq \infty \end{bmatrix}, \quad (53)$$

$$\mu_{4.3}(x) = \begin{bmatrix} 1, & 0 \leq x \leq 650 \\ (750-x)/(750-650), & 650 \leq x \leq 750 \\ 0, & 750 < x \end{bmatrix}.$$

Техническое построение системы может быть частично ограничена в виду отсутствия датчика контроля яркости искрообразования в конструкции якоря генератора постоянного тока, но при встраивании элемента «к примеру фотодиод» для контроля яркости, реализация вполне допустима. Отсутствие одного параметра в данной системе при наличии оставшихся переменных, позволяет выполнить оценку состояния. Так, при номинальных условиях работы генератора, превышение и переход величины тока в критическую зону, может рассчитываться как переход в область принятия решений по дальнейшей эксплуатации.

При встраивании систем контроля, основанные на нечеткой логике в многофункциональные и много задачные объекты, вопрос контроля и оценки может решаться на основе программируемых контроллеров [48], позволяющих прогнозировать время наступления отказа объекта контроля. Реализация функций указанных выше, возможна благодаря базе правил Мамдани [142], встроенных в программируемые логические контроллеры.

Так, реализация выходной лингвистической переменной в состоянии N – номинал, будет выглядеть следующим образом:

$$IF = \mu_{1.1}(x) \text{ and } \mu_{2.1}(x) \text{ and } \mu_{3.1}(x) \text{ and } \mu_{4.1}(x) THEN \chi_{i_N}. \quad (54)$$

В случае перехода одного из параметров контроля из зоны номинала в рабочую зону, выходная лингвистическая переменная χ_{i_k} сменит свое значение на следующий уровень состояния. Для варианта получения лингвистической переменной P – рабочее, правило будет иметь следующий вид:

$$IF = \mu_{1.2}(x) \text{ or } \mu_{2.2}(x) \text{ or } \mu_{3.2}(x) \text{ or } \mu_{4.2}(x) THEN \chi_{iW} \quad (55)$$

При переходе параметров из рабочей зоны в критическую, выходная лингвистическая переменная примет новое значение χ_{iC} .

$$IF = \mu_{1.3}(x) \text{ or } \mu_{2.3}(x) \text{ or } \mu_{3.3}(x) \text{ or } \mu_{4.2}(x) THEN \chi_{iC} \quad (56)$$

Переход одного из параметров контроля еще не означает полный переход системы в критический режим, как при случае превышения только тока якоря. Для полного перехода необходимо соблюдение условия, - переход второго параметра сочетающегося в критической зоне согласно таблицы 2, например - величина искрения коллектора. Тогда выходная лингвистическая будет иметь следующий вид:

$$IF = \mu_{1.3}(x) \text{ or } \mu_{2.2}(x) \text{ or } \mu_{3.2}(x) \text{ and } \mu_{4.3}(x) THEN \chi_{iC} \quad (57)$$

В связи с этим следует градуировать выходное значение χ_{iC} для практических действий при переходе одного параметра в критическую зону, следует выполнить отключение объекта контроля χ_{iC-OFF} , при двойном – необходимо выполнить осмотр $\chi_{iC-Check}$, при тройном $\chi_{iC-Replace}$ осуществить замену агрегата.

$$IF = \mu_{1.3}(x) \text{ or } \mu_{2.2}(x) \text{ or } \mu_{3.2}(x) \text{ or } \mu_{4.2}(x) THEN \chi_{iC-OFF} \quad (58)$$

$$IF = \mu_{1.3}(x) \text{ or } \mu_{2.2}(x) \text{ or } \mu_{3.2}(x) \text{ and } \mu_{4.3}(x) THEN \chi_{iC-Check} \quad (59)$$

$$IF = \mu_{1.3}(x) \text{ and } \mu_{2.3}(x) \text{ or } \mu_{3.2}(x) \text{ or } \mu_{4.2}(x) THEN \chi_{iC-Check} \quad (60)$$

$$IF = \mu_{1.3}(x) \text{ and } \mu_{2.3}(x) \text{ and } \mu_{3.3}(x) \text{ or } \mu_{4.2}(x) THEN \chi_{iC-Replace} \quad (61)$$

$$IF = \mu_{1.3}(x) \text{ and } \mu_{2.3}(x) \text{ and } \mu_{3.3}(x) \text{ and } \mu_{4.3}(x) THEN \chi_{iC-Replace} \quad (62)$$

3.5. Нечеткая система контроля состояния бортовой радиоэлектронной аппаратуры

Безотказность радиоэлектронной аппаратуры (РА) есть показатель надежности ВС [38]. Так, для ВС массой более 5700 кг, предусмотрено многократное резервирование. Для легких ВС этот показатель отражено в таблице 27. С целью снижения риска отказа БРЭО требуется выполнение соответствующих операций контроля [42]. Согласно таблице 27, менее резервированным является радиовысотомер. Его отказ опасен в горной местности.

Таблица 27 – Данные по наработке на отказ БРЭО самолета АН-2 [3]

№ п.п.	Радиоэлектронное оборудование/ определяемые параметры	Наработка на отказ, ч	Дублирующее авиационное оборудование ВС / определяемые параметры	Наработка на отказ, ч
1	Авиационный радиокompас АРК-5/ курсовой угол р/станции	1000-3000	ГПК-48 / компасный курс	800-10000
			КИ-13 / компасный,	
2	Радиостанция «Баклан-5» / радиосвязь в МВ диапазоне	300	Р/ст Р-800 р/связь в УКВ диапазоне	300
			Р/стР-840 р/связь в КВ диапазоне	
3	Радиовысотомер малых высот РВ-УМ / истинная высота	370-5000	Барометрический высотомер ВД-10К / абсолютная и относительная высота	1700

По результатам оценки статистики частыми причинами отказов РЭА является выход из строя электролитических конденсаторов типа К52-2 и ЭТО-2 [30,100]. В работе [92] расчет ожидаемого срока службы конденсатора

выполняется согласно $L_x = L_0 \cdot 2^{\left(\frac{T_0 - T_x}{10}\right)} \cdot K^{\left(\frac{-\Delta T_x}{5}\right)}$, где основными параметрами

являются только T_0 – максимальная и T_x – фактическая температура конденсатора без учета наработки.

Ввиду блочного решения устройств бортового радиооборудования поиск неисправности возможен только при вскрытии корпуса на АРЗ. Методики определения отказа БРЭО для ЛВС не разработаны. Установлено, что причиной отказов БРЭО являются конденсаторы, имеющие наработку на отказ до 10000 часов, где имеется статистика (табл. 28). Одной из причин отказов является малая наработка за межремонтный период, в связи с простоями.

Таблица 28 – Ведомость диагностики БРЭО

№ п.п.	Тип ВС	тип изделия	Наработка с начала эксплуатации	Наработка после последнего ремонта	Межремонтный ресурс	Гарантийный ресурс	Состояние
1	АН-2	РВ-УМ	10864	1491	1500	500	Отказ
2	АН-2	-----	5051	440	2000	600	Отказ
3	АН-2	Р\с Баклар	10768	178	1500	500	Отказ
4	АН-2	-----	7941	1465	2000	500	Испр
5	АН-2	РВ-2	9089	1477	1500	500	Отказ
6	АН-2	-----	9909	1415	1500	500	Испр
7	АН-2	Р-800	12214	1350	2000	600	Испр
8	АН-2	РВ-УМ	3188	144	2000	600	Отказ
9	АН-2	РВ-2	3342	348	2000	600	Отказ
10	АН-2	АРК-5	4573	1434	1500	600	Испр
11	АН-2	Р\с Баклар	1787	115	1500	500	Отказ
12	АН-2	-----	3590	747	1500	500	Отказ

При длительном простое, теряется до 30% емкости конденсаторов, идет рост тангенса угла потерь и разрушение оксидного слоя. Следующим важным параметром, является температура нагрева. Температура на поверхности

конденсатора определяется как $t_x = t_0 + \Delta t$, где t_0 – температура перегрева, которая зависит от рассеиваемой мощности и конструкции, а Δt – температура окружающей среды. Каждый конденсатор имеет предельное значение t_K , превышение которого приводит к резкому и необратимому ухудшению параметров. Определение текущего значения t_K возможно при известном значении t_0 . Следующим показателем является межремонтный период эксплуатации, в 5 лет. При достижении межремонтного периода, конденсаторы подлежат замене.

Принцип нечеткой логики может быть представлен в виде значений «очень истинно», «более-менее истинно» и «не очень ложно» [112,151]. Нечеткая модель Мамдани [142] позволяет избежать большого объема вычислений на основе правил, при этом необходимая дефазификация выходной переменной, по методу центра тяжести. Фазификатор отображает точное значение переменной X в нечеткие множества из t . Дефазификатор отображает нечеткие множества из p в четкое значение выхода W . Процесс контроля в соответствии с алгоритмом Мамдани приведен в работе [153].

Нечеткая модель Мамдани, представляет собой правило-условие «*IF - THEN*», и выставлением лингвистических переменных этих отношений. Введены несколько нечетких множеств, связанных с лингвистической переменной «Температура нагрева». Термы для входной переменной представим как,

$$X_1 = \{T, \mu_{X_1}(t)\} - \text{невлияющее};$$

$$X_2 = \{T, \mu_{X_2}(t)\} - \text{влияние несущественно};$$

$$X_3 = \{T, \mu_{X_3}(t)\} - \text{влияние существенно};$$

$$X_4 = \{T, \mu_{X_4}(t)\} - \text{влияние неприемлемое};$$

$$X_5 = \{T, \mu_{X_5}(t)\} - \text{катастрофическое}.$$

где T – величина температуры нагрева, $\mu(t)$ – функция принадлежности.

Второй лингвистической переменной, является время наработки до отказа (в часах), термы выглядят следующим образом:

$$Y_1 = \{F, \mu_{Y_1}(f)\} \text{ – начальное;}$$

$Y_2 = \{F, \mu_{Y_2}(f)\}$ – незначительное (критическое – при полном календарном межремонтном периоде - 5 лет);

$$Y_3 = \{F, \mu_{Y_3}(f)\} \text{ – среднее;}$$

$$Y_4 = \{F, \mu_{Y_4}(f)\} \text{ – значительное;}$$

$$Y_5 = \{F, \mu_{Y_5}(f)\} \text{ – заключительное;}$$

$$Y_6 = \{F, \mu_{Y_6}(f)\} \text{ – сверхнормы,}$$

где F – отказ на время наработки в межремонтный период эксплуатации, $\mu(t)$ – функция принадлежности.

Третьим значением, принимается переменная, именуемая «Календарный межремонтный период» измеряемая в миламперах, термы выглядят:

$$Z_1 = \{L, \mu_{Z_1}(l)\} \text{ – начальный;}$$

$$Z_2 = \{L, \mu_{Z_2}(l)\} \text{ – продолжающийся;}$$

$$Z_3 = \{L, \mu_{Z_3}(l)\} \text{ – средний;}$$

$$Z_4 = \{L, \mu_{Z_4}(l)\} \text{ – предзавершающийся;}$$

$$Z_5 = \{L, \mu_{Z_5}(l)\} \text{ – конечный;}$$

$$Z_6 = \{L, \mu_{Z_6}(l)\} \text{ – сверхпределный,}$$

где L – величина импульса, $\mu(l)$ – функция принадлежности.

Результирующее значение текущего состояния отражает «Вероятность отказа БРЭО». Термы представлены как

$$W_1 = \{P, \mu_{W_1}(p)\} \text{ – исправно, с полным ресурсом;}$$

$$W_2 = \{P, \mu_{W_2}(p)\} \text{ – исправно, с остаточным ресурсом;}$$

$$W_3 = \{P, \mu_{W_3}(p)\} \text{ – неисправно, с остаточным ресурсом;}$$

$W_4 = \{P, \mu_{W_4}(p)\}$ – неисправно, без ресурса.

где P – состояние БРЭО, $\mu(p)$ функция принадлежности.

Функции принадлежности представлены в виде треугольников или трапеций для перечисленных переменных на (рис. 1-4).

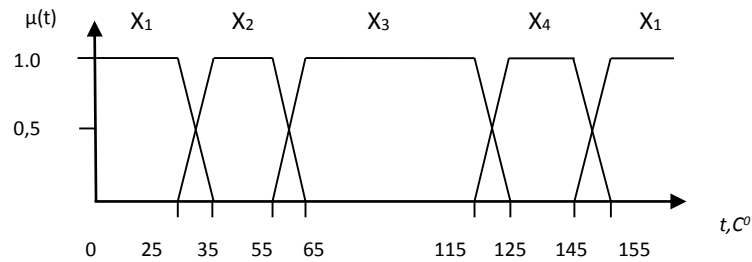


Рисунок 30 – Лингвистическая переменная «Температура нагрева»

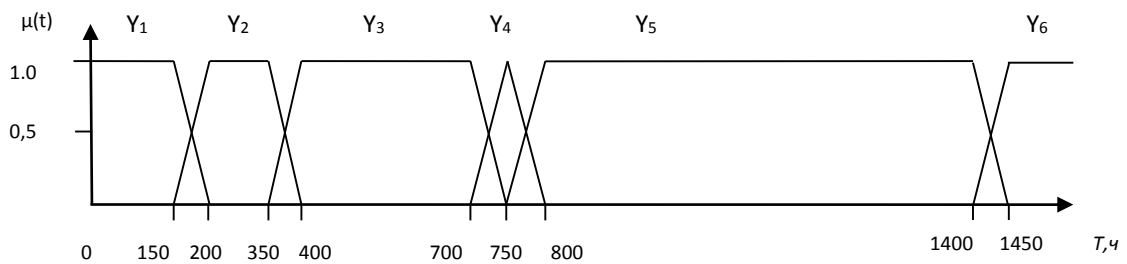


Рисунок 31 – Лингвистическая переменная «Наработка до отказа»

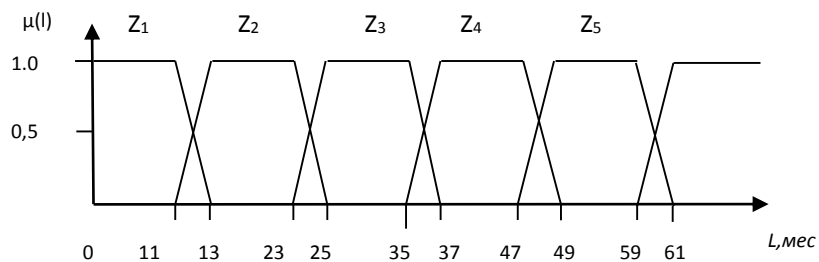


Рисунок 32 – Лингвистическая переменная «Календарный межремонтный период»

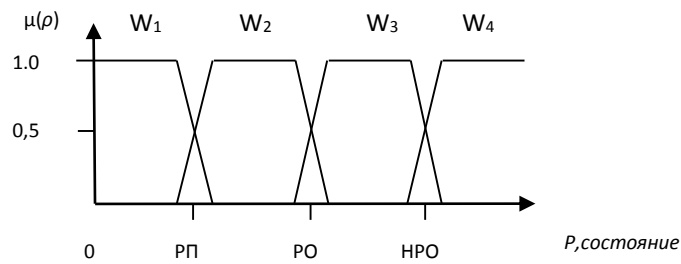


Рисунок 33 – Выходная переменная «Состояние объекта контроля»

Так для элемента агрегата БРЭО сформирована полная база из 114 правил. Таким нечетким правилам соответствует полная группа нечетких событий $S_i, i= 1, \dots, 114$, $\{S_i\} = \{S_i(W_1, W_2)\} \cup \{S_i(W_3, W_4)\}$, где W_1, W_2 соответствуют работоспособным состояниям, а w_3, w_4 – состояниям отказа. Для полной группы вероятностей нечетких состояний, будет справедлива формула:

$$\sum P(W_1, W_2, W_3, W_4) = \sum P(W_1, W_2) + \sum P(W_3, W_4) = 1 \quad (63)$$

Всего из сформированных нечетких состояний 52 соответствуют работоспособности и 62 состояния соответствуют отказу. Реализация задачи, осуществляется согласно «*Subalgorithm STRAIGHT*» [8]. Алгоритм циклический (приложение 4) и обеспечивает контроль технического состояния БРЭО. Дефаззификатор отображает нечеткие множества в четкие значения выхода W , соответствующие состояниям работоспособности и отказа. Для нечеткой оценки безотказности БРЭО преобразуем формулу (1) к виду (2)

$$1 - \sum P(W_3, W_4) = \sum P(W_1, W_2) \quad (64)$$

Формула представляет нечеткую оценку безотказности БРЭО.

Приведенная методика, позволяет оценивать состояние контролируемой аппаратуры, без доступа к элементам. Приведенный подход позволяет реализовать контроль состояния и систему поддержки принятия решений.

3.6 Выводы по главе 3

Разработана математическая модель сокращения длительности процесса ремонта РЭА методом уменьшения временных потерь .на основе декомпозиции процесса ремонта, была предложена модель повышения результативности, где критерием улучшения (уменьшения) было принято время полного цикла ремонта ВС. Предложенные инструменты улучшения позволяют сократить полное время цикла ремонта ВС. Выполнено математическое описание и обоснование повышения качества ремонта на основе оценки достоверности показателей контроля параметров контролируемой аппаратуры. Построена система оценки состояния бортовой аппаратуры на базе нечеткой логики. Система при внедрении в авиакомпанию, позволяет обеспечивать поддержку принятия решения для эксплуатанта и дальнейшим необходимым действиям с контролируемым объектом. Получены выходные уравнения состояния контролируемого объекта. Даная система может быть применима и к другим бортовым системам и агрегатам, позволяя выполнять оценку состояния на основании предложенного алгоритма нечеткой логики.

Глава 4. СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЛЕГКИХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

4.1. Математическая модель прогнозирования перспективной производственной загрузки

Обеспечение летной годности воздушных судов неразрывно связано с обязательным выполнением определенного ряда мероприятий. Среди этих мероприятий особое место занимают работы, связанные с выполнением технической диагностики и ремонтными работами. Периодическое техническое обслуживание и выполнение плановых средних и капитальных ремонтных работ осуществляются практически на любом предприятии, авиационные предприятия в этом смысле также не являются исключением [49,56,87].

Существующие системы ремонта воздушных судов отражены в работе [87]. В соответствии с работой [87] ремонт авиационной техники выполняют на авиаремонтных предприятиях, которые могут быть организованы в условиях заводов, авиатехнических баз и других предприятий. Поэтому долговечность полетов и безопасная эксплуатация воздушных судов неразрывно связана с тем, как налажен производственный процесс наземного обслуживания [87].

На авиаремонтных предприятиях выполняются все виды перечисленных ремонтных работ. Поэтому учитывая системность и синхронное повторение всех видов ремонтных работ для определенных видов авиационной техники, на предприятиях обязательно организуются системы управления производствами. В настоящее время такие системы управления предприятиями работают в автоматизированном режиме. Структура и принципы организации автоматизированных систем управления

производством (АСУП) рассматриваются в литературе [28,70,99]. Порядок создания таких систем может быть организован в соответствии с работой [109].

Структура авиаремонтного предприятия представлена в работе [87]. В современных условиях к авиаремонтным предприятиям предъявляются большие требования. Помимо надежности и эффективности ремонтов к авиаремонтным предприятиям предъявляются требования по своевременному выполнению данных мероприятий. Выполнение данных мероприятий неразрывно связано с операциями учета количества и вида обнаруженных дефектов, который требует поставки и пополнения оборудования и комплектующих для выполнения ремонтных работ. Рассматривается задача организации автоматизированной системы учета вида и количества отказов авиационной техники, которая выполняет прогнозирование необходимого количества оборудования и комплектующих для ремонта авиационной техники. Данная система может быть встроена в общую систему управления предприятием, которая описывается в работе [72,99].

Как было описано выше, все ремонтные работы и виды технического обслуживания на авиаремонтном предприятии носят повторяющийся характер, что позволяет построить математическую модель прогнозирования возможных видов отказов авиационной техники, которая поступает на авиаремонтный завод. На основании полученной математической модели возникает возможность учесть затраты авиаремонтного предприятия на будущий год. Такие модели могут быть организованы в виде автоматизированных систем, которые позволят повысить эффективность предприятия.

Рассматриваемая задача может быть решена в соответствии с методами, которые описаны в работе [68], путем прогнозирования временных рядов. Временной ряд – это множество наблюдений, получаемых последовательно во времени [68].

В соответствии с работой [107] временной ряд может быть представлен в следующем виде:

$$y_t = x_t + S + C + \varepsilon_t, \quad (65)$$

где x_t – детерминированная неслучайная компонента процесса (тренд), S – сезонная составляющая процесса, C – циклическая составляющая процесса, ε_t – стохастическая компонента процесса. Задачей прогноза является определение функций детерминированной неслучайной компоненты, сезонной и циклической компонент, стохастическую компоненту определяют на основе эмпирических данных [107].

Наиболее быстрым, эффективным и надежным методом математического прогнозирования с точки зрения простоты вычислений и учета весов значений исходного временного ряда являются методы экспоненциального сглаживания [68].

Метод экспоненциального сглаживания позволяет построить такое описание процесса, при котором более поздним наблюдениям придаются большие веса по сравнению с ранними наблюдениями, веса наблюдений убывают по экспоненте [107].

Следующее выражение называется экспоненциальной средней k -порядка для временного ряда:

$$S_t^{[k]}(y) = \alpha \sum_{i=1}^n (1-\alpha)^i S_{t-1}^{[k]}(y), \quad (66)$$

где α – параметр сглаживания, который играет важную роль в прогнозировании [9].

В соответствии с работой [107] существует несколько подходов для нахождения параметра сглаживания, одним из которых является первое соотношение Брауна по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{2}{N+1}, \quad (67)$$

где N – число точек ряда, для которых динамика ряда считается однородной и устойчивой [107].

Для прогнозирования поступления авиационной техники на авиаремонтный завод в рассматриваемой задаче будут применяться следующие модели:

- модель без тренда;
- модель с линейным трендом;
- модель с экспоненциальным трендом;
- модель с затухающим трендом.

Для выбора оптимальной модели прогнозирования для каждого временного ряда вычислим средний квадрат ошибки (Meansquares):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} e_i^2, \quad (68)$$

где n – общее количество точек временного ряда, e – остатки, которые вычисляются по следующей формуле:

$$e_i = X_{ki} - S(X_{ki}), \quad k = 1..5. \quad (69)$$

Также вычисляется сумму квадратов ошибок (Sumsofsquares) по следующей формуле:

$$SSE = \sum_{i=1}^{n-1} e_i^2. \quad (70)$$

Для эффективного планирования производственной деятельности на авиаремонтном заводе, необходимо иметь предварительный прогноз возможных загрузок заводских мощностей. Так, данные авиаремонтного предприятия, выполнившего ремонт воздушных судов и авиационной техники за 2010 -2016 годы представлены в таблице 28. На основании этих данных предлагается выполнить прогнозирование количества воздушных судов, которое поступит на следующие годы. Для этого каждый вид авиационного оборудования в таблице 29 обозначен соответствующей переменной X_i . На

основании этих данных выполним прогноз поступления данных видов авиационной техники на 2020 и 2021 годы.

Таблица 29 – Объем ремонтных работ, выполненных авиаремонтным заводом

№ п/п	Годы	Самолеты Ан-2, X_1	Вертолет Ми-2, X_2	Двигатель Аш-62ИР, X_3	Двигатель ГТД-350, X_4	Редуктор ВР-2, X_5
1	2010	12	1	22	40	15
2	2011	13	1	21	41	22
3	2012	15	3	26	63	25
4	2013	9	4	25	70	22
5	2014	10	6	28	54	11
6	2015	10	1	24	44	9
7	2016	13	1	22	38	4

В таблице 29 представлены характеристики оптимальности модели прогнозирования по формулам (1) – (4) для каждого вида авиационной техники. В таблице 29 представлены минимальные значения расчетных показателей MSE и SSE, которые позволяют сделать следующие выводы.

Таблица 30 – Характеристики оценки оптимальности модели

Наименование объекта ремонта Обозначение временного ряда	Показатели оценки оптимальности модели	Виды моделей			
		без тренда	линейный тренд	экспоненциальный тренд	затухающий тренд
Самолет Ан-2 X_1	MSE	4,3	5,23	8,39	4,31
	SSE	30,1	36,64	58,72	30,21
Вертолет Ми-2 X_2	MSE	20,47	6,99	4,4	7,62
	SSE	143,28	48,98	30,82	53,35
Двигатель Аш-62ИР X_3	MSE	6,18	9,44	17,59	7,78
	SSE	43,25	66,12	123,17	54,48
Двигатель ГТД-350 X_4	MSE	171,8	148,06	172,19	110,58
	SSE	1202,61	1036,41	1205,35	774,04
Редуктор ВР-2 X_5	MSE	53,72	7,12	12,04	11,06
	SSE	376,04	49,85	84,28	77,39

Таблица 31 – Численные значения сглаженного ряда, прогноза и остатков по Самолетам Ан-2, Вертолетам Ми-2, Двигателям Аш-62ИР

Годы	Самолеты Ан-2			Вертолеты Ми-8			Двигатели Аш-62ИР		
	X_1	$S(X_1)$	e_{1i}	X_2	$S(X_2)$	e_{2i}	X_3	$S(X_3)$	e_{3i}
2010	12	11,71	0,29	14	11,22	2,76	23	25,29	-2,29
2011	13	11,74	1,26	9	7,41	1,58	29	25,06	3,94
2012	15	11,87	3,13	3	4,9	-1,89	26	25,45	0,55
2013	9	12,18	-3,18	4	3,02	0,98	25	25,51	-0,51
2014	10	11,86	-1,86	6	2,01	3,99	28	25,46	2,54
2015	10	11,67	-1,68	1	1,59	-0,59	24	25,66	-1,66
2016	13	11,5	-1,49	1	1,0	-0,002	22	25,71	-3,71
2017		11,65			0,66			25,54	
2018		11,65			0,43			25,19	

Таблица 32 – Численные значения сглаженного ряда и прогноз по Двигателям ГТД-350 и Редукторам ВР-2

№ п.п.	Годы	Двигатели ГТД-350			Редукторы ВР-2		
		X_4	$S(X_4)$	e_{4i}	X_5	$S(X_5)$	e_{5i}
1	2010	32	32,0	0	33	30,67	2,33
2	2011	47	32,5	14,5	28	26,77	1,23
3	2012	63	51,67	11,33	26	22,58	3,42
4	2013	70	69,51	0,48	23	19,15	3,85
5	2014	54	73,97	-19,97	12	15,96	-3,96
6	2015	44	49,92	-5,92	10	10,31	-0,31
7	2016	38	39,16	-1,16	5	5,75	-0,75
8	2017		34,92			1,03	
9	2018		33,33			-3,46	

Для прогноза первого и третьего временных рядов оптимальной является модель без тренда. Для второго временного ряда оптимальной является модель с экспоненциальным трендом, для четвертого – модель с затухающим трендом, а для пятого ряда – модель с линейным трендом.

Рассчитаем значения сглаженного ряда $S(X_i)$ и остатки e_{ki} для каждого вида авиационной техники. Эти значения приводятся для различных видов данной техники в таблицах 30 и 31. Полученные значения сглаженных рядов являются прогнозными моделями. Графики временных и сглаженных рядов для отдельных видов авиационной техники изображены на рисунках 34 – 38. Построенные графики иллюстрируют поведение временного ряда и его прогнозной модели

На рис 34 представлены графики, которые отражают зависимость остатков, т.е. величины, вычисленной по формуле (3) на рисунке 6.

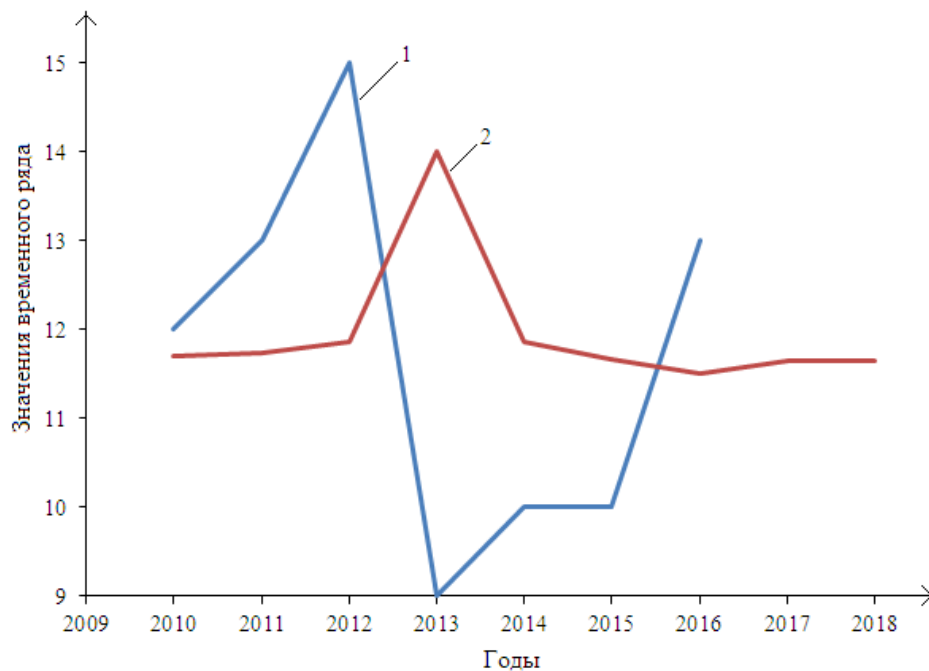


Рисунок 34 – Графики временного ряда (1) и прогнозная модель в виде сглаженного ряда (2) для самолетов Ан-2

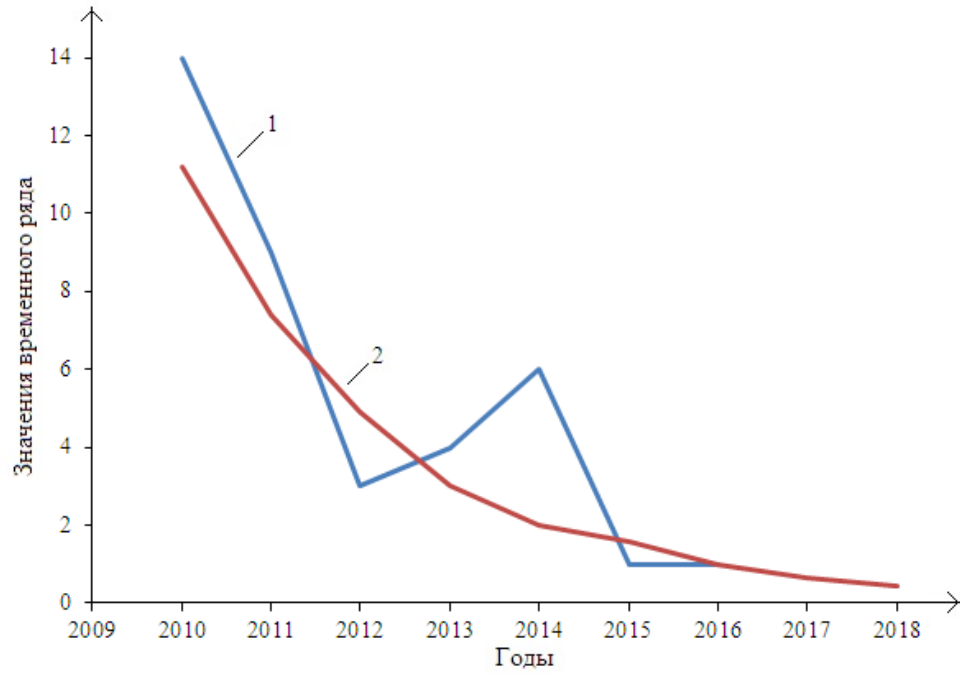


Рисунок 35 – Графики временного ряда (1) и прогнозная модель в виде сглаженного ряда (2) для вертолетов Ми-2



Рисунок 36 – Графики временного ряда (1), прогнозная модель в виде сглаженного ряда (2) для двигателей Аш-62ИР

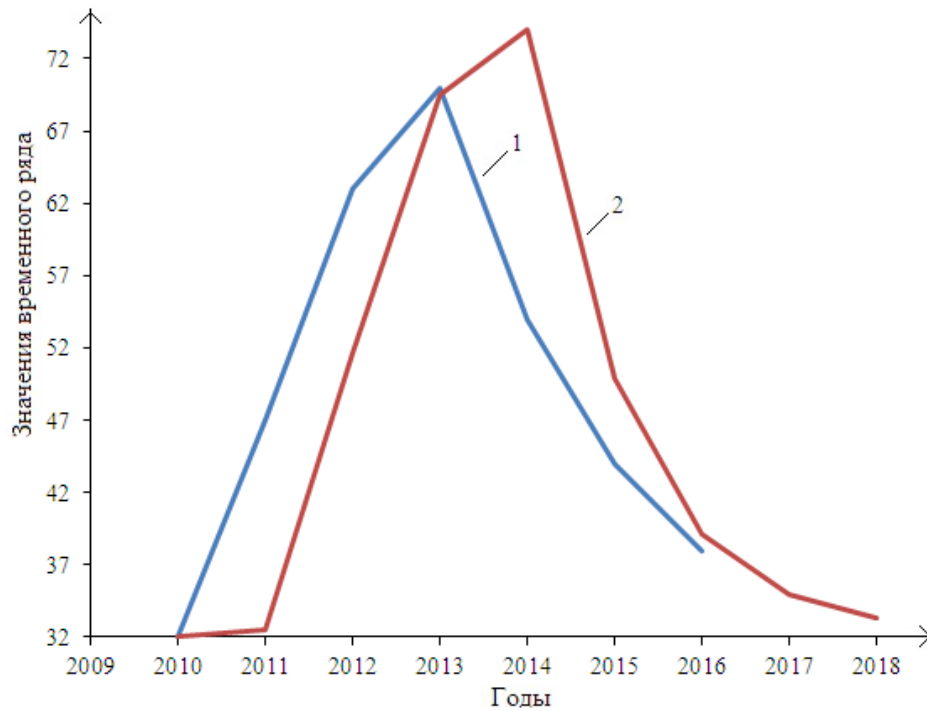


Рисунок 37 – Графики временного ряда (1), прогнозная модель в виде сглаженного ряда (2) для двигателей ГТД-350

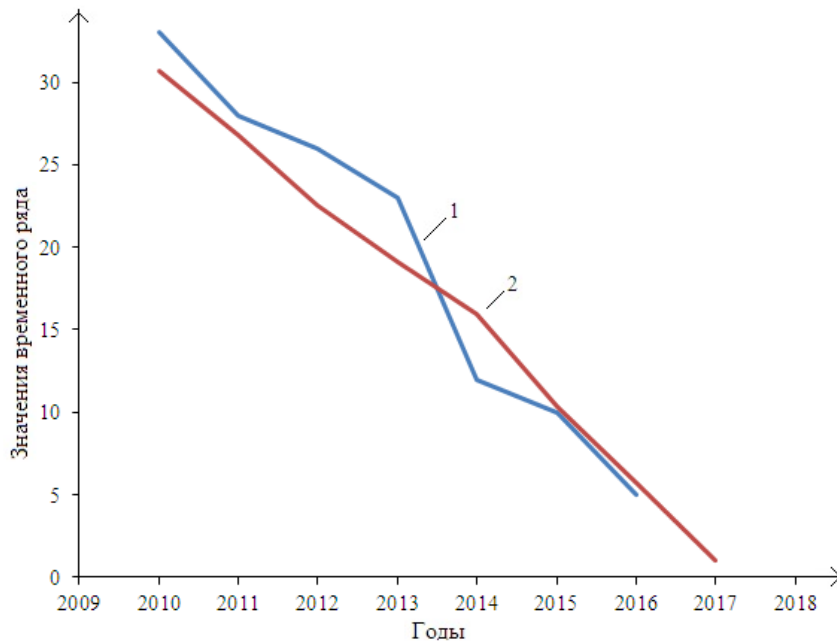


Рисунок 38 – Графики временного ряда (1), прогнозная модель в виде сглаженного ряда (2) для редукторов типа ВР-2

Для количественной оценки точности прогноза для каждого временного ряда определяется среднеабсолютная процентная ошибка (Mean Absolute Percentage Error) по следующей формуле:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{|e_i|}{X_{ki}} \cdot 100\%. \quad (71)$$

В данном случае *куказывает* на номер временного ряда и пробегает значения от 1 до 5 для каждого вида авиационной техники. Для оценки точности прогноза по показателю MAPE воспользуемся шкалой, приведенной в таблице 33.

Таблица 33 – Оценка точности прогноза

Величина среднеабсолютной процентной ошибки, MAPE	Оценка точности прогноза
0% – 10%	Высокая
10% – 20%	Хорошая
20% – 50%	удовлетворительная
50% и выше	неудовлетворительная

Для рассматриваемых временных рядов значения MAPE и соответствующих параметров моделей занесены в таблицу 34.

Таблица 34 – Характеристики оценки точности и значения параметров, построенных моделей

Показатели точности прогноза	Временной ряд				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
MAPE, %	15,91	35,77	11,17	14,71	13,21
A	0,8	0,1	0,8	0,9	0,3
Г	–	0,1	–	0,9	0,1
Ф	–	–	–	0,5	–

Таким образом, оценки точности прогнозов по всем объектам ремонта, кроме вертолетов Ми-2, хорошая, поскольку их показатели MAPE лежат в интервале от 10% до 20%, а прогноз по вертолетам Ми-2 является удовлетворительным. В итоге приведем прогнозируемое количество авиатехники и их узлов на следующие два года в виде таблицы 35.

Предложенная модель может быть с легкостью реализована в составе автоматизированных систем управления предприятием (АСУП). Такие

приложения в составе систем могли бы быть полезны для планово-экономической деятельности и организации более эффективной системы снабжения не только для авиаремонтного предприятия, но и предприятия любой отрасли.

Таблица 35 – Прогнозируемое количество ВС которое поступит на завод

Годы	Самолеты Ан-2	Вертолеты Ми-2	Двигатели Аш-62ИР	Двигатели ГТД-350	Редукторы ВР-2
2017	12	1	26	35	1
2018	12	0	25	33	0

Ранее было отмечено, что приложение прогнозирования в составе АСУП на основании предыдущих лет позволяет прогнозировать будущее количество авиационной техники на следующие два года. Таким образом, из таблицы 7 следует, что в 2020 и 2021 годах будет поставлено на завод 12 самолетов Ан-2, один вертолет Ми-2, 26 и 25 двигателей типа Аш-62ИР, 35 и 33 двигателей типа ГТД-350 и один редуктор типа ВР-2. По мере накопления данных во временном ряду модель будет уточняться в автоматическом режиме, будет увеличиваться точность прогноза.

Таким образом, получено решение задачи связанной с разработкой приложения в составе АСУП. Данная модель, основанная на методах экспоненциального сглаживания, позволяет прогнозировать поступление авиационной техники в будущем на основании прогнозирования временных рядов. При этом на примере прогнозирования за короткий период поступления в ремонт как воздушных судов и другой авиационной техники, проведена оценка точности прогнозных моделей. Универсальность данной модели позволяет использовать предлагаемый подход прогнозирования не ограничиваясь применением только для АСУП авиационных предприятий, и может быть реализовано в любых отраслях, где процессы могут быть разложены по временным рядам.

4.2. Структура системы удаленного мониторинга параметров бортовой аппаратуры легких воздушных судов

Большинство коммерческих полетов на постсоветском пространстве выполняется воздушными судами (ВС) западного производства массой более 5700 кг, при этом «малые игроки» т.е. легкие воздушные суда (ЛВС) классифицируемые согласно [8], смогли сохранить свою нишу на авиационном рынке. Традиционно к «тяжелым» ВС обращено основное внимание по обеспечению безопасности полетов в связи с большой численностью перевозимых пассажиров. В настоящее время силовые установки и оборудование таких типов ВС как Airbus, Boeing, Embraerи др., обеспечиваются системой удаленного мониторинга подобной ETM (Engine Trend Monitoring) через спутниковые системы SATCOM (Satellite Communications Centre) и системы связи CPDLS (Controller–Pilot Data Link Communications). Организация поддержания летной годности (ЛГ) этих типов ВС выполняется через различные программные продукты, такие как CAMP (Computerized Aircraft Maintenance Program) или AMASIS (Aircraft Maintenance and Spares Information System).

Существующий парк ЛВС на территории СНГ достаточно большой и имеет широкую географиюиспользования в авиационных работах, коммерческих перевозках и пр. Эксплуатанты данных ВС, самостоятельно решают вопросы контроля поддержания ЛГ и не всегда успешно, о чем говорят ежегодные «Отчеты о состоянии безопасности полетов Межгосударственным авиационным комитетом» [150].

Поддержание ЛГ ВС, заключается не только в выполнении директив по техническому обслуживанию и регламентных работ, оно так же включает капитальные ремонты на авиаремонтных заводах. На настоящий момент при поступлении ВС в ремонт, АРЗ не всегда обладает информацией о техническом состоянии объекта, что требует дополнительного времени и затрат. Наличие возможности своевременной оценки актуального состояния

ВС посредством систем контроля и мониторинга, обеспечило бы АРЗ более качественное планирование и организацию ремонтов. При наличии такой системы оценки состояния, эксплуатант ВС, также получит инструмент поддержки принятия решения по дальнейшей траектории эксплуатации.

Разработка и применение дистанционных средств управления, коммуникации и диагностики ВС всегда представляла широкий интерес. В работе [132] выполнен исторический обзор развития человеко-машинного интерфейса и перспективы летно-диспетчерских комплексов. Актуальность контроля состояния конструкционной целостности и надежности ВС, отражена в работе осуществляющей прогнозирование безопасного времени эксплуатации «Aircraft life predictions» [113] а также применение интеллектуальных систем [21]. Так, оценка состояния при диагностике силовых установок основанной на экспертных системах выполнена в работе [151].

Передачу информации на настоящий момент могут обеспечить как средства Internet так и волоконно-оптическая связь ВОСП-РС имеющая пропускную способность до 10Тбит/сек[97]. Начиная с 1976 года ВС западного производства оснащаются системой ACARS (*Aircraft Communications Addressing and Reporting System*) являющейся адресно-отчетной системой авиационной связи, позволяющей обмениваться информацией в полете о состоянии текущих данных полета через наземные транспондеры с аэропортами и офисом авиакомпании. Система включает в себя не только бортовое оборудование, но и наземный комплекс представляющий собой широкую сеть приемо-передающих станций [139]. Преимуществами вышеуказанных используемых систем, программ и методов является достаточно высокая точность и надежность. Это все оправдывается обеспечением безопасности полетов, но при этом имеют свои особенности, как технические так и экономические выраженные использованием дополнительных наземных, встраиваемых сложных систем и элементов контроля.

Эксплуатируемые ЛВС такие Ан-2, Ми-2, и др., а также местные авиалинии не имеют такого оборудования и соответствующей наземной инфраструктуры, что наталкивает на поиск новых решений. Предлагаемая структура системы, не требует сложного дополнительного оборудования для мониторинга состояния ЛВС и использования сети наземных радиостанций, при этом может позволить выполнить наземное межполетное диагностирование за тысячи километров от АРЗ, накапливать текущие данные и планировать деятельность. Под этим понимают систему, осуществляющую автоматизированный анализ информации, для оптимизации управления объектом, согласно [28].

Решение задачи технического контроля состояния воздушного судна для АРЗ, возможно с применением системы мониторинга технических параметров (СМТП). Система МТП состоит из совокупности измерительных преобразователей: датчиков (Д) - осуществляющих измерение параметров элементов контроля состояния воздушного судна, программируемого логического контроллера (ПЛК) - выполняющего обработку информации, средств отображения информации и средств связи и передачи (ССП) обработанной информации на АРЗ для оценки результатов мониторинга в режиме реального времени. В качестве датчиков контроля, предлагается использовать типовые штатные датчики размещенные на борту ВС для контроля и снятия основных параметров: вибрация, температура, давление, обороты, отклонение и перемещение, расход и др. С целью получения точных данных, сигналы датчиков установленных на ВС предварительно тарируются с сигналами эталонных датчиков представленных АРЗ, с предварительным определением коэффициента погрешности.

К примеру, получение данных энергосистемы (напряжение, ток, частота) можно выполнить с клемм генераторов, аккумуляторов, с шин электросистем переменного и постоянного тока, шунтов, дифференциально-минимального реле и др., отправляя через ПЛК на центральный процессор АРЗ. Регулярный характер применения такой системы, позволит выполнить

прогнозирование сложных дефектов, с применением математического аппарата на примере работы [105], а на основании статистики осуществлять прогнозирование поступления ВС в ремонт [83] и оптимизировать внутренние производственные процессы. Для ширины и глубины диагностики, возможно применение дополнительного диагностического оборудования в зависимости от природы и динамики параметра диагностируемого объекта.

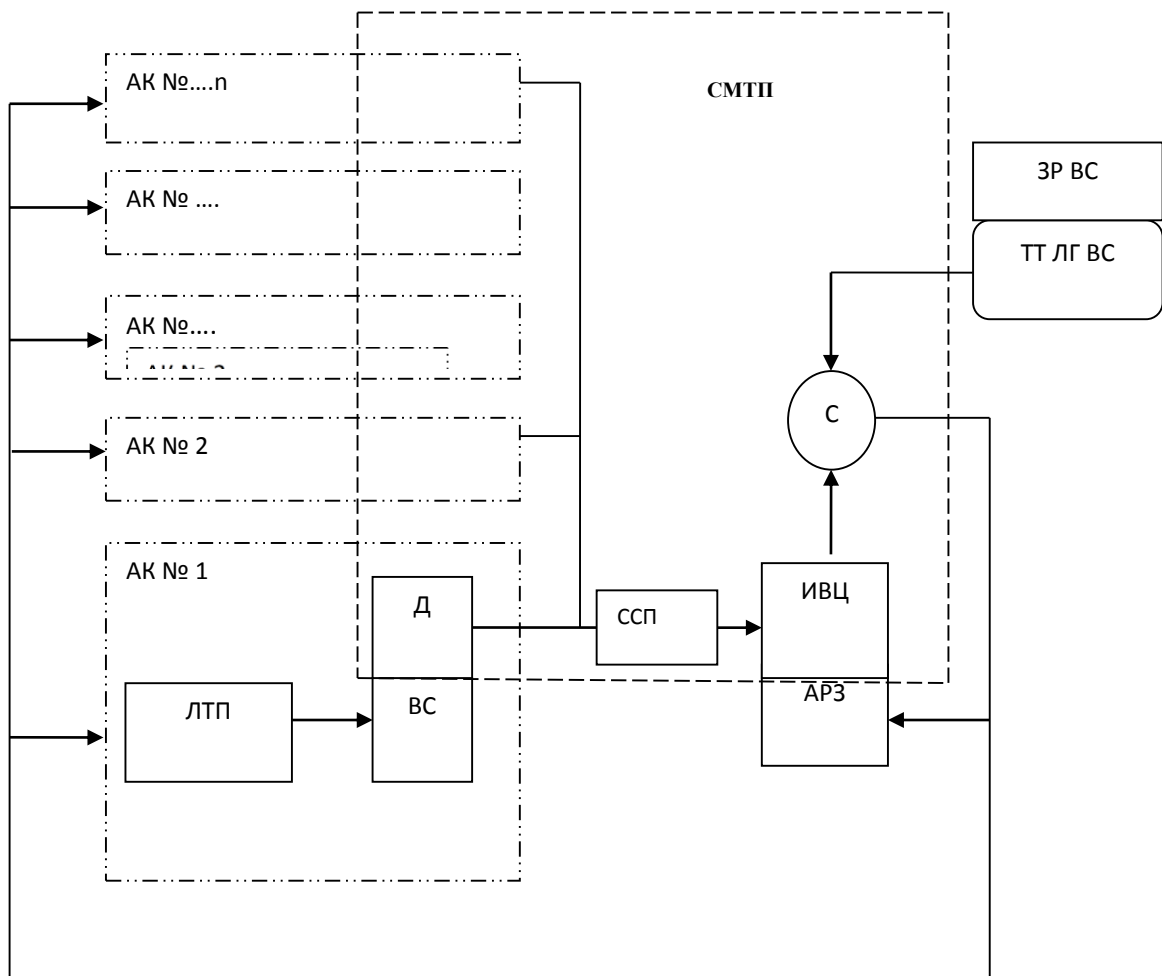


Рисунок 39 – Интеграция СМТД

АК- авиакомпания, ИВЦ –информационно-вычислительный центр, ЗР ВС – завод разработчик ВС, ТТ ЛГ ВС - технические требования поддержания летной годности, ССП – система связи и передачи, ЛТП – летно-технический персонал

Любая действующая система обладает структурой, что является ее обязательным признаком [88] и для рассмотрения внутренних процессов

осуществим декомпозицию рис.1. Внутренняя композиция системы будет представлять собой цепь последовательно выполняемых функций, где выходы одного объекта будут входами следующих. Являясь динамической системой, последовательные связи завершаются отрицательной обратной связью. Выходные данные «решение сумматора», есть база актуальных данных состояния ВС с отклонениями от технических требований поддержания ЛГ (ТТ ЛГ) ВС установленные заводом разработчиком (ЗР). Совокупность эти данных представляют собой инструмент поддержки принятия решения оператором для отправки ВС в ремонт, а для АРЗ информацию для анализа и планирования организации предстоящих ремонтов. Сумматором, будет выступать информационно-вычислительный центр (ИВЦ) системы осуществляющий оценку согласно программным алгоритмам и установленным ограничениям.

Для формализации системы УТД, представим ее как множество различных элементов имеющих разнообразные функциональные связи друг с другом, образуя общий единый организм, который может представлять собой упорядоченную пару $Z = (X, Y)$, где X — множество элементов расположенных на ВС; Y — множество функций между X . При этом множество X представляет собой совокупность подлежащих и доступных контролю свойств I_n этих элементов.

Тогда каждому свойству элемента контроля I_n присуще определенная переменная K_i , с помощью которой суммируется изменение свойств в виде параметров. Множеству наблюдаемых изменений свойства ставится в соответствие множество значений переменной.

$$S: I_n = [I_{n,j}, j=\{1,N\}] \rightarrow K_i = [K_{i,j}, j=\{1,N\}], \quad (71)$$

где I_n — n -ое свойство(физическое свойство элемента), K_i — переменная (контролируемый параметр).

Сцелью упорядочения системы отразим ее в виде множества:

$$Z = (X_i, K_i, Y_j, R_l), \quad (72)$$

где X — множество элементов, K — множество параметров, Y_m — множество функций обращения к X_i и K_i , где R_l — выходные данные превышающие эксплуатационные ограничения для принятия решения.

При всем многообразии имеющихся альтернатив $\{\chi\}$ и логике принятия решения L , согласно теории системного анализа [109], в итоге должно присутствовать только два (годен -негоден) вывода, основанные на четко выстроенном алгоритме принятия решения. При этом качество принятия решения будет основываться на степени точности P и условия обеспечения достоверности D входной информации [90].

В этом случае верное решение $\Phi\{\chi\}$ при множестве всех альтернатив χ , принятого на основе полученных данных Z , будет зависеть от степени соответствия состояния ВС к техническим требованиям RR поддержания ЛГ ВС, при условии обеспечения необходимой точности P и достоверности D измерений,

$$Z \in (\chi | \Phi\{\chi\}) / RR \Leftrightarrow (P \wedge D). \quad (73)$$

На рисунке 35 представлен принцип передачи данных информации. Мобильное оборудование для снятия и передачи данных (контроллер, аналого-цифровой преобразователь, модем, выход на линию передачи) может размещаться в ангаре или инженерной службе и подключаться непосредственно к датчикам или к предусмотренному разъему при выполнении послеполетной и предполетной подготовки ВС.

В предлагаемой структуре, АРЗ должен располагать сервером с центральным процессором для приема, хранения, анализа и обработки базы данных, модемом и линией приема данных. Связующим звеном между ВС и АРЗ предполагается Интернет, ВОСП или другая система передачи данных (СПД).

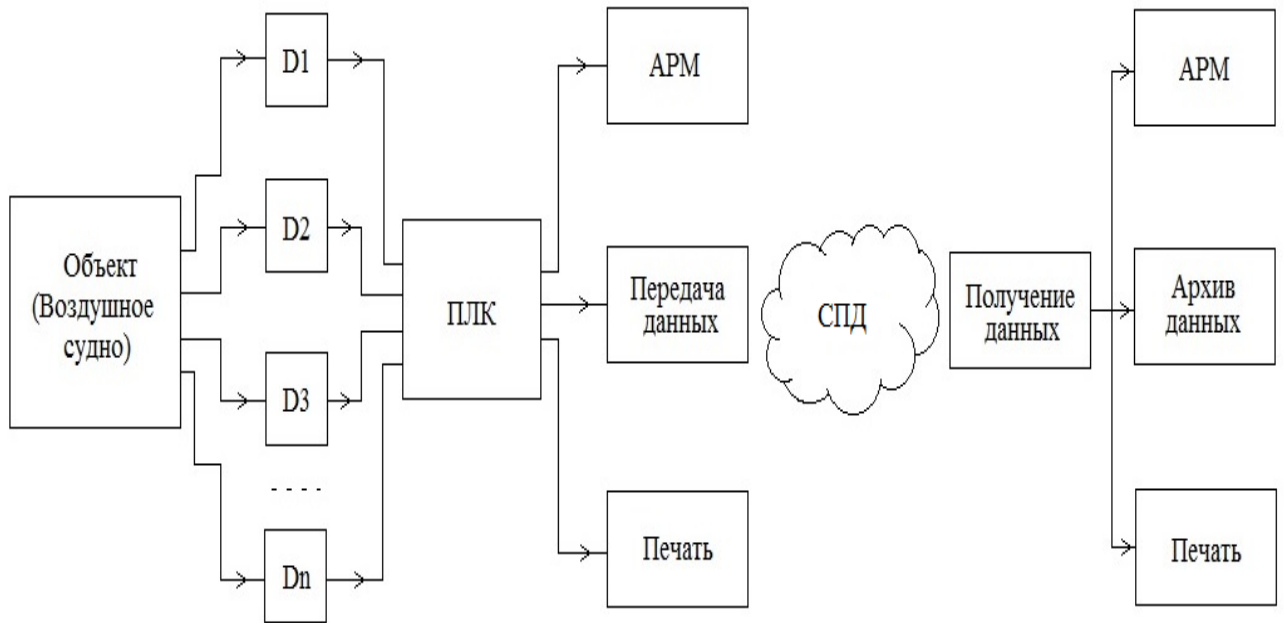


Рисунок 40 – Система передачи сигналов от ВС до АРЗ

Как показано на рисунке 40, система состоит из объекта управления, которым является воздушное судно, различных датчиков $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ для выполнения измерений параметров состояния узлов ВС, ПЛК, осуществляющего обработку данных поступающих с автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора. Помимо этого в состав системы входят средства отражения (печати) данных результатов мониторинга и средства передачи данных на расстояние. Обработанные данные могут быть переданы посредством системы передачи данных в АРЗ, на котором организована система получения данных, АРМ для персонала, средства отражения и хранения архивных данных.

Построение системы мониторинга выполнено по принципу автоматической системы управления [109]. На рисунке 40 направление информационных потоков показано стрелками, которые двигаются в направлении от объекта к конечному пользователю на АРЗ. Систему мониторинга можно условно разделить на две части. Одна из частей размещается на месте нахождения объекта (воздушного судна), а другая часть интегрируется в удаленную систему, которая находится на АРЗ. Обмен

данными между ними может быть организован с помощью известных протоколов и сетей передачи данных. Канал связи может быть организован в зависимости от расстояний. Если расстояния являются довольно большими, то канал связи может быть организован на основе спутниковой связи.

Технический персонал (авиатехник, инженер) обслуживающий ВС подключает выход группы датчиков $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ диагностируемого объекта к ПЛК через встроенный преобразователь сигналов и синхронизируется сервером АРЗ, который получает данные о воздушном судне в режиме реального времени. Измеренная информация отображается на экране АРМ оператора. Отображение информации может быть реализовано с помощью SCADA систем на АРМ.

В целях исключения спорных ситуаций о результатах мониторинга и иметь постоянный доступ к первичной информации о состоянии ВС, вся измеренная информация может быть архивирована. Оба оператора могут вести мониторинг и контроль на АРМ. На обоих АРМ имеются соответствующие архивы, которые могут быть сравнены, если это будет необходимо. В случае невозможности оценки мониторинга в режиме реального времени, архив с результатами может быть передан АРЗ на рассмотрение и изучение.

Внедрение такой системы будет способствовать достижению следующих положительных результатов:

- сокращение времени процессов диагностики и других этапов при ремонте ВС на АРЗ;
- сокращение расхода ресурсов благодаря своевременному планированию;
- повышение качества ремонта на основе прогнозирования и накапливаемой статистики отказов;
- повышение автоматизации ремонта и загрузки оборудования АРЗ;
- возможность проведения диагностики в любое необходимое время, при необходимости;

- возможное увеличение объемов загрузки АРЗ за счет улучшения сервиса и формируемой ценовой политики.

На ее основе может быть реализована система массового диспетчерского контроля и диагностики. Особенно важным становится внедрение таких систем в связи с необходимостью перехода систем технического обслуживания и ремонта по состоянию ВС. Помимо перечисленных преимуществ, СМТП обеспечит повышение уровня безопасности полетов, благодаря реализации объективной оценки техническими средствами соответствия экземпляра ВС требованиям технического регламента, что помогает ответить на поставленный вопрос в работе [90].

4.3. Методика оценки эффективности инновационных решений в производственных процессах

Расположение на конкурентном рынке услуг, является важным показателем для любого объекта экономической деятельности. В работе [78], предложена модель, позволяющая оценить эффективность принятых решений, для достижения поставленных задач. Любое решение по управлению, должно приниматься на основе взвешенных оценок. Чем шире представлены категории оценки, тем точнее выходной результат. Данная статья может быть полезна для предприятий, принимающих новую стратегий действий.

Экономическая ситуация на предприятиях напрямую связана с объемом и ритмичностью процессов, а качество от степени контроля. Это видение подходит и к авиационным предприятиям, выполняющих техническое обслуживание и ремонт авиационной техники. Достижение конкурентного уровня требует от управленческого звена принятие новой стратегии с учетом вызовов конкурентной среды. Новое решение, должно быть основано на оценке его результативности, обеспечивая эффективность процессов предприятия.

Результативность процессов является основополагающим показателем жизнеспособности каждой организации в течении жизненного цикла. Оценка состояния и определение позиции в конкурентном пространстве является актуальной для любого субъекта экономической деятельности. Экономическая ситуация на предприятиях напрямую связана с объемом и ритмичностью процессов, а качество от степени контроля. Это видение подходит и к авиационным предприятиям, выполняющих техническое обслуживание и ремонт авиационной техники. Достижение конкурентного уровня требует от управленческого звена принятие новой стратегии с учетом вызовов конкурентной среды. Новое решение, должно быть основано на оценке его результативности, обеспечивая конкурентоспособность предприятию.

Современные реалии, требуют применение инновационного менеджмента реализующего новые решения в деятельности субъектов производственной деятельности для достижения конкурентоспособного уровня. При этом выпуск конкурентной продукции невозможен, при существующих методах производства [16], что требует внедрения инноваций. Процессные инновации— это освоение новой или значительно усовершенствованной продукции, а также передовые подходы в организации производства. Особенностью, внедрения нововведений заключается в том, что выбранное направление определяет всю дальнейшую стратегию. Таким образом, новаторские решения на предприятии, должны быть способны учесть существующие угрозы и иметь видение будущего.

Разработка модели оценки решений по результатам их реализации, позволит решить задачи по совершенствованию производственных процессов и корректировки стратегии. Оценка эффективности управленческих решений (УР) является составной частью любой управленческой деятельности [54]. Исходя из классификации видов решений табл.2 [54] по виду признака ремонт авиационной техники относится к технической области производства с групповым принятием решения, в условиях большой неопределенности с

решением внешних и внутренних задач, имеющих важное значение для предприятия, с возможностью формализации, требующее рациональных, творческих и быстрых решений.

В результате анализа проблемной области, были выявлены некоторые существующие методики оценки критериев и показателей (табл.36). Наличие различных методик оценки [76] отражает узкую направленность каждого решения, так в работе [123], одним из релевантных критериев, влияющих на принятие решений, относятся затраты при разработке нового продукта. При этом рекомендуется достичь точной оценки затрат, в качестве основного критерия в процессе принятия решений.

Таблица 36 – Типовые методики оценки

№ п.п.	Методики	Модель	Исследуемые признаки
1.	Методика оценки по ГОСТу [3]	RPN=COD	Оценка предельного числа риска
2.	Методика оценки технического уровня[4]	$q_{\text{птун}} = \sum K_i \frac{P_{n_i}}{P_k}$	Сопоставление параметров проекта с параметрами конкурентного образца и эталона
3.	Методика «Кортер» [5]	$q_{\text{кортер}} = \frac{D_{\%}}{D_{\%/\text{эталон}}}$	Сопоставление параметров проекта с параметрами эталона (в процентом отношении)

Для методики оценки уровня относительной конкурентоспособности конкурентоспособность каждого товара (услуги) основывается на уровне доверия (УД). Каждый показатель товара поступающего в конкурентную среду отражается (УД) или соответствия, отражающий удовлетворенность потребителя соответствию заявленным требованиям. УД оценивается в пределах 0,2 – 0,99, причем УД показателей продуктов использовавших инновационные решения может превышать единицу [53].

Традиционно, на предприятиях в основном внедряют нововведения итерационного характера, получая небольшие изменения в результатах. Этот метод решений позволяет внедрять инновации в короткие промежутки времени при малых затратах. Радикальные изменения требуют длительного

времени выполнения, сложного и дорогостоящего процесса и характеризуясь высоким уровнем риска и неопределенностью, которые приводят к трудностям при принятии решений. Главным преимуществом такого подхода является получение существенных конкурентных преимуществ и создание значительной ценности для предприятия [124]. Авиаремонтное предприятие в зависимости от типа авиационной техники может применять оба подхода, при этом учитывая длительность перспективы от срока жизненного цикла АТ.

Начальное состояние	Внутренние процессы управления		Влияние процессов	Внешние процессы управления			Стратегические цели	
	Учитываемы факторы и критерии			Задачи	Учитываемы факторы и критерии			
	Ресурсы	Затраты, L	Снижение ↓ влияние на	↔	Сокращение ↓ влияние на	Поставщики, K		Риски взаимных операций
	Средства							Влияние среды
	Производственные риски							
	Ценообразование			×	Увеличение собственной составляющей			
	Надежность	Качество, Q	Повышение ↑ влияние на	→	Увеличение ↑ влияние на	Потребители (продукта, услуг), N		Удовлетворенность
	Контроль							Количество (продукта, услуг)
	Технологичность							Соотношение (цена-качество)
	Конкурентоспособность				География распространения			
Период оценки решений, t								

Рисунок 41 – Карта влияния решений по изменению показателей на эффективность процессов управления

Для определения методики оценки УР предлагается карта влияния решений по изменению показателей на эффективность УР, представленную на рис.36. Предлагается эффективность УР, выразить в виде комплексного показателя, отражающего достижение определенных результатов и целей

предприятия за выбранный период деятельности. Это должно позволить учесть существующие вызовы среды и возможные риски.

Существующие процессы относительно самого производства, группируются по двум категориям - внутренние и внешние. Задачами внутренних процессов являются,

- повышение качества: инструменты (глубокий контроль и диагностика);
- снижение затрат: объекты управления (время, ресурсы, средства);
- повышение технологичности: методы (применение передовых методов, материалов, стандартов, технологий, автоматизации и компьютеризация производства);
- подготовленность и обученность персонала: показатели (опыт, разряд, степень и др).

Внешней задачей предприятия должна быть,

- удовлетворенность покупателя: показатель (соответствие уровня услуг ожиданиям заказчика);
- сокращение потерь от взаимных операций с поставщиками: критерии (брак, сроки поставок);
- оценка и учет рисков: операции (классификация и прогнозирование).

Поскольку стратегия – это комплексный план управления предприятием обеспечивающий укрепление на рынке с координацией усилий по привлечению и удовлетворению потребителей с достижением глобальных целей [104]. То для достижения целей, внутренние и внешние процессы управления должны взаимодействовать компенсируя слабые позиции и усиливая перспективные. На рис 41. отображены тренды влияния новаций на деятельность предприятия. В этом случае условный показатель конкурентоспособности C_i по определенному направлению i , будет прямо пропорционален показателю качества Q услуг или продукта и увеличению количества N потребителей и обратно снижению затрат L и поставщиков K (при увеличении собственной составляющей в продукте, услуге). При оценке информации о использовании инноваций полезен контакт с потенциальным

получателем, а также правильная стратегия и тактика в рыночной среде, которые снижают риск, связанный с реакцией рынка [127]. Следовательно, вводимый показатель удовлетворенности S получателя товара (услуг) позволяет коррелировать апгрейд качества и количества продукта. Таким образом, это соотношение можно представить выражением,

Таблица 37 – Оценка снижения затрат

№ п.п.	Динамика затрат	Критерий оценки	Динамика объемов произ.-ва	Результурующий показатель
	-4	Очень высокое снижение затрат при очень высоком увеличении объемов производства	+4	10
	-3	Высокое снижение затрат при высоком увеличением объемов производства	+3	9
	-3	Высокое снижение затрат и потерь при значительном снижении объемов производства	+2	8
	-2	Значительное снижение затрат и потерь при значительном снижении объемов производства	+2	7
	-2	Значительное снижение затрат при незначительном увеличении объемов производства	+1	6
	-1	Незначительное снижение затрат при неизменном объеме производства	0	5
	+1	Незначительное увеличение затрат при незначительном снижении объемов производства	-1	4
	+2	Значительное увеличение затрат при незначительном снижении объемов производства	-1	3
	+2	Значительное увеличение затрат при значительном снижении объемов производства	-2	2
	+3	Высокое увеличение затрат при высоком снижении объемов производства	-3	1
	+4	Очень высокое увеличение затрат при очень высоком увеличении объемов производства	-4	0

$$C = \sum_{i=1}^1 C_i = \frac{QNS}{LK}, \quad (74)$$

в этом случае, показатель эффективности принятых решений за определенный жизненный цикл процесса будет выражаться через,

$$E = \frac{C_b}{\Delta C} \times 100\%, \quad (75)$$

где, C_b – отсчетный (базовый) показатель эффективности до внедрения инновационных решений, ΔC – показатель изменений.

Таблица 38 – Оценка состояний.

№ п.п.	Критерии оценки	Текущее состояние	Целевые показатели	Имеющиеся лучшие результаты (эталон, конкурент и пр.)
1	Качество %, Q	75	98	100
2	Потребители, ед., N	12	25	50
3	Удовлетворенность, %, $S \times 10$	65	90	95
4	Поставщики, ед., K	20	15	35
5	Затраты, усл. ед., $L \times 10$	35	28	43
6	Интегральный показатель, C	83	525	315

Примечание: показатели S и L приведены к средней степени остальных показателей путем умножения на 10, для удобства отражения на графике и оценке.

Одной из сложностей оценки, является приведение показателей к определенной условной единой единице измерения которая бы удовлетворяла их требованиям. В этом случае приемлемо применение оценки на основе нечеткой логики [52,89] или отражение относительных единиц измерения на лепестковой диаграмме. Оценку принятых решений предлагается осуществлять по принципу [54] по критериям согласно таблице 38.

Для учета существующих рисков (снижение качества продукта, услуг) согласно [44] показатель эффективности снижения затрат E_L не должен превышать предельный порог в 0,12 при максимальном значении $RPN=120$, выражаясь в виде

$$E_L = L/RPN \quad (76)$$

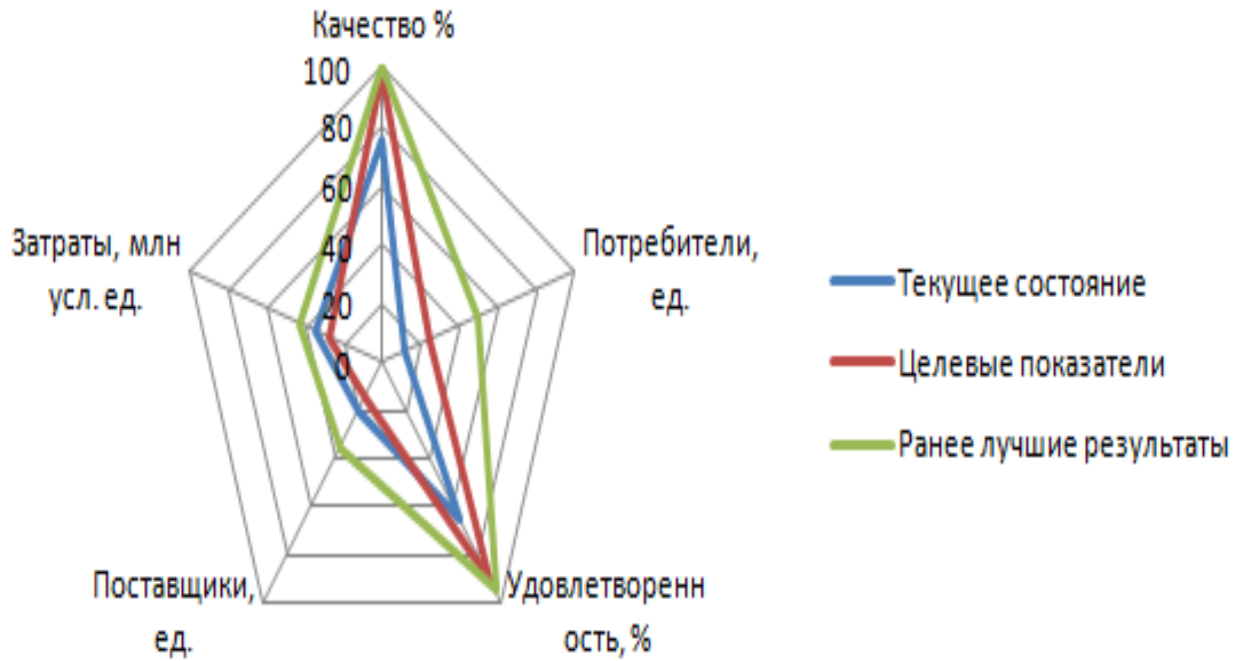


Рисунок 42 – Диаграмма показателей влияния

Для отражения данной методики представлена таблица 38 с результатами интегрального показателя принятых решений согласно (1). Для сравнительной оценки, условно приняты текущие значения по каждому критерию текущего состояния, целевых и лучших (в отрасли, конкурентной среде, регионе и пр.) С целью визуализации сравнительного положения относительно целевых и лучших результатов, представлена диаграмма на рис.37

4.4. Методика оценки состояния и улучшений организации процессов ремонта на АРЗ

Существующие процессы организации ремонта авиационной техники произведенной в период Советского союза отличны по отношению к западным, где системно ищут новые подход и методы решения проблем [133,147]. Такая стабильность не может являться положительной характеристикой в динамично развивающейся авиационной отрасли. Необходимы новые подходы, методики и решения. В работе [142] отражена важность построения эффективной структуры организации производственных процессов, что в итоге отражается на качестве внутренней среды и результативности процессов. При существующей динамике организационных, экономических и политических процессов, возникает необходимость в наличии инструментов оценки текущего состояния производства и изменений, на основе принятых подходов улучшения. При отсутствии стратегии развития, методов и инструментов оценки улучшений, невозможно сохранить и улучшить позиции в условиях технологического, организационного и коммуникационного прогресса.

Согласно теории организации [102] задача данной работы - разработка методики относится к третьей группе, в область которых входят технологии раскрывающие организацию деятельности и управления (правила, процедуры, циклы, коммуникации и пр.). В условиях существующей организационной структуры авиаремонтного завода, предложены дополнить внутренние процедуры инструментом оценки, на основе которой будут приниматься дальнейшие организационные решения. Разработка и принятие планов развития для предприятия всегда актуально. Они предполагают детальный обзор и оценку существующего состояния, в том числе и прогнозирование перспектив и трендов на примере работы [5], а также измерение степени влияния среды и поиск инструментов управления состоянием, представленной в статье [130].

Для разработки методики управления изменениями и оценки показателей улучшений, построена блок-схема алгоритма процедур, представленная на рис.42. Предполагая деятельность предприятия как непрерывный процесс развития и обеспечения постоянства процессов управления изменениями, алгоритм процессов имеет циклическую форму.

Базовыми условиями для начала изменений, является заинтересованность высшего руководства управления, что требует концепция Lean Six Sigma [75]. Предполагается, что руководством АРЗ будут выполнена оценка состояния (с возможным привлечением экспертов), принята новая стратегия, выработаны ключевые направления развития, определены тренды и указаны целевые количественные параметры показателей улучшения и разработан план реализации поставленных задач. Не менее важным является второй этап где, следует выполнить поиск и генерацию новых методов, решений, инструментов, формирование внутренней креативной и мотивированной среды для выработки предложений. При этом также, обеспечивается подготовка персонала и лидеров групп управления.

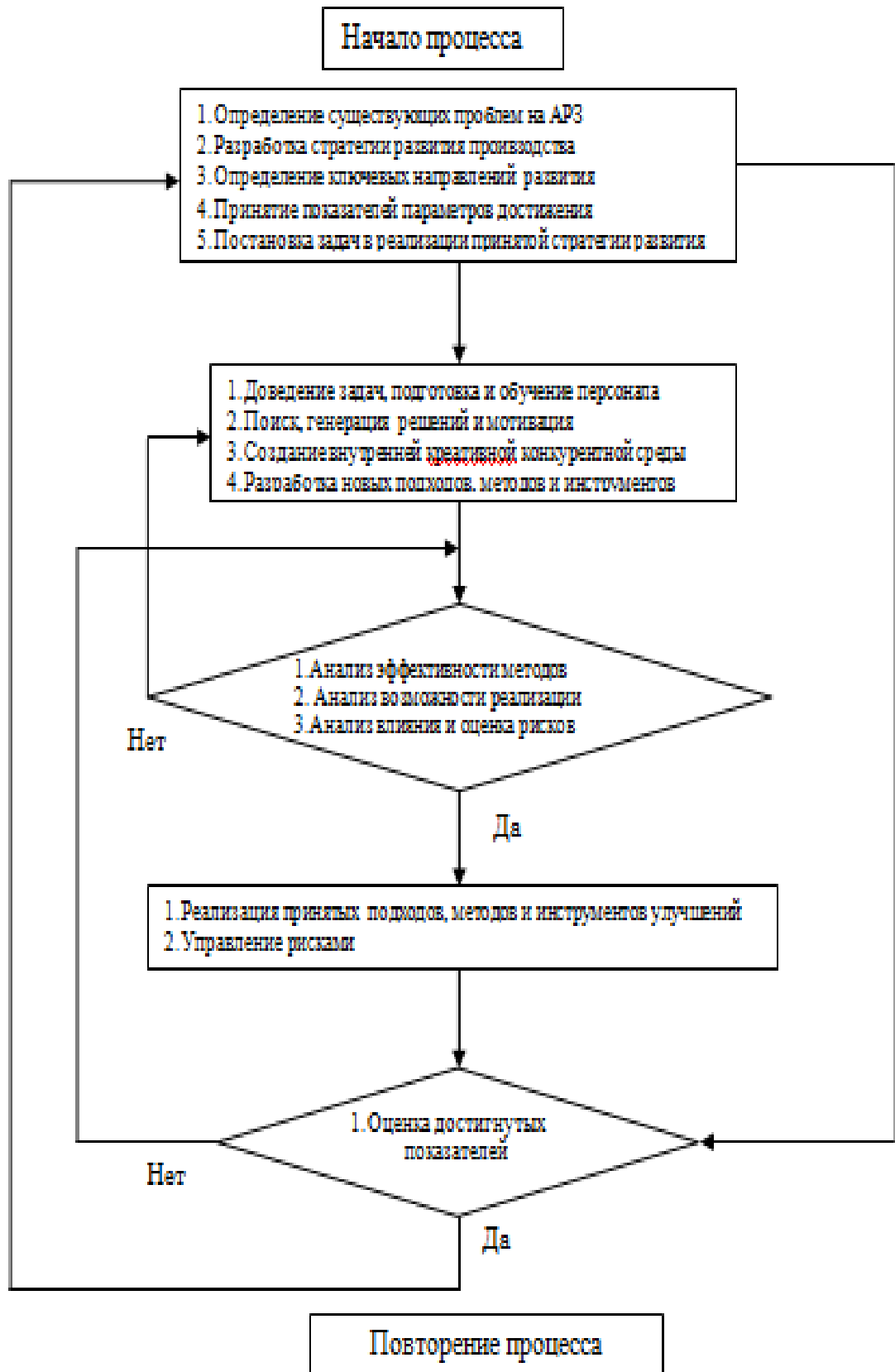


Рисунок 43 – Блок-схема алгоритма процедур улучшений

Для третьего этапа характерно качество реализации задач. Ошибки, допущенные на данном этапе, подвергаются корректировке, что ведет к потере времени и других ресурсов, что нежелательно в условиях реализации политики улучшения. Данный этап характерен внедрением инновационных подходов и решений.

Четвертый этап улучшений, реализуется согласно разработанным, проанализированным и принятым методам и траекториям. Этап включает осуществление процесса управления рисками, снижая степень влияния вредных факторов. На заключительном этапе выполняется итоговая оценка достигнутых улучшений и принятие бинарного решения по достижению целевого показателя, а также запуска нового процесса разработки стратегии и целевых индикаторов улучшения.

Так, ключевыми направлениями улучшений для обеспечения качества ремонта на АРЗ, предлагаются следующие пять, это:

- длительность производственного цикла ремонта воздушных судов (ВС) с весом $g = 0,2$;
- достоверность и точность диагностики параметров с весом $g = 0,3$;
- качество операций ремонта, включающее точность и безошибочность, с весом $g = 0,35$;
- степень гибкости перестроения внутренних и внешних процессов, с весом $g = 0,15$. Указанные весовые коэффициенты по степени влияния на результат, утверждаются индивидуально для каждого отдельного предприятия, в общем процессе улучшений.

Показатель улучшения, есть суммарный показатель степени достижения принятых значений, ключевыми направлениями улучшения:

$$P_{(imp)} = \sum_{i,j,k=1}^n P_{ik} P_{jk} P_{lk} ; \quad (77)$$

где, P_i – ключевые направления 1-го уровня, P_j – составляющие показатели 2-го уровня, P_l – обеспечивающие показатели 3-уровня, k – коэффициенты (вес) улучшения. Следует отметить, что ранее в выше указанных работах, критерии оценки подразделялись чаще на два основных показателя, и в редком

случае достигались пяти. Для исключения влияния «проклятия размерности» и сложности вычислений, а также опираясь на личный практический опыт, предлагается ограничиться в пределах «треугольника трех уровней».

Улучшение 1-го ключевого направления - длительность производственного цикла (2), будет основано на оптимальности временных затрат и степени использования инструментов оптимизации. Так для сокращения длительности производственного цикла, необходимо обеспечение сокращения показателей 2-го уровня: - подготовительных t_{prp} , операционных t_{prs} и межоперационных t_{btw} затрат времени и применение время сберегающих методов (nm_{ts}), с соответствующими весовыми значениями в общем соотношении затрат 01; 0,6; 0,3.

$$\Delta P_{(1k)} = \Delta t_{prp}(nm_{ts}) + \Delta t_{prs}(nm_{ts}) + \Delta t_{btw}(nm_{ts}). \quad (78)$$

Показателями обеспечения 3-го уровня будут являться сумма величин сокращения времени для этих этапов ремонта.

$$\Delta t_{prp}(nm_{ts}) = \Delta t_{prp1} + \Delta t_{prp2} + \dots + \Delta t_{prpN}; \quad (79)$$

$$\Delta t_{prs}(nm_{ts}) = \Delta t_{prs1} + \Delta t_{prs2} + \dots + \Delta t_{prsN}; \quad (80)$$

$$\Delta t_{btw}(nm_{ts}) = \Delta t_{btw1} + \Delta t_{btw2} + \dots + \Delta t_{btwN}, \quad (81)$$

где N - количество процедур.

Основными методами сокращения времени могут послужить раннее выявление состояние объектов ремонта, прогнозирование, компьютеризация, автоматизация, механизация, совмещение потоков, удаленный контроль, исключение отдельных операций путем применения новых подходов и решений, а также аутсорсинг.

Улучшение 2-го ключевого направления – достоверность и точность диагностики (3), будет основано на применении традиционных и разработке новых методов обеспечивающих повышение оценки $n\Delta m_{acc}$ – точности и $n\Delta m_{crd}$ – достоверности где n - количество применяемых способов.

$$P_{(2k)} = n\Delta m_{acc} + n\Delta m_{crd} + n\Delta m_{tls}. \quad (82)$$

В работе [62], предложена методика оценки достоверности агрегата ВС, при этом все улучшения указанных параметров следует отразить в процентном соотношении к базовому. В данном направлении весовые показатели параметров распределяются следующим образом 0,35 и 0,65 соответственно, отражая степень влияния и могут варьироваться в зависимости от особенностей процесса соответственно.

Учитывая, что большинство операций ремонта выполняется вручную, то для 3-го направления, для уравнения (4) улучшений - точность и безошибочность и энергоэффективность предлагаются весовые коэффициенты $k = 0,7; 0,2$ и $0,1$, и будут выражены через:

$$P_{(3k)} = k\Delta L_{aco} + k\Delta L_{nf} + kn\Delta m_{es}; \quad (83)$$

где $\Delta L_{aco} = l_{exp}l_l / l_{ag}$ - точность операций, основанная на l_{exp} - уровне опыта исполнителя, l_l - уровне обученности и l_{ag} - среднем возрасте персонала. Для безошибочности ручных операций - ΔL_{nf} необходимо повышение коэффициентов регулярности k_r и однообразия k_{st} операций или полная автоматизация процесса. Уравнение безошибочности предстает в виде: $\Delta L_{nf} = k_r * k_{st}$. Все параметры, необходимо отражать в процентах по отношению к существующему состоянию. Повышение энергоэффективности, будет отражаться изменением на сумму внедренных методов, инструментов и их степенью влияния, $L_{es} = \sum kn\Delta k_{es}$.

Таблица 39 – Факторы и характеристики уровня организационной гибкости производственной системы

Наименование фактора	Индекс характеристики	Наименование характеристики
Техника	01	Универсальность технологического оборудования и оснастки
	02	Структурное резервирование
Технология	03	Применение типовых и групповых технологических решений
Организация производства и управления	04	Структурная инвариантность
	05	Замкнутость процесса производства в пределах подразделения
	06	Приспособляемость к меняющимся требованиям объекта производства
	07	Синхронизация стадий и работ
	08	Использование внутрисистемных регулирующих механизмов
Кадры	09	Мобильность в перемене рабочих мест
	10	
	11	Уровень квалификации Способность меняться к меняющимся условиям внешней среды
Производственные заказы	12	Стабильность номенклатуры и объема
	13	
	14	Непрерывность выпуска
	15	Конструктивно-технологическая однородность
	16	Возможность изменений требований к качеству и срокам поставки
		Обновляемость номенклатуры

Для заключительного ключевого направления - степени гибкости перестроения организации внутренних и внешних процессов, предлагается уравнение (5);

$$P_{(4k)} = k\Delta\eta_s * k\Delta\eta_{org} * k\Delta\eta_{tech} \quad (84)$$

где $k\Delta\eta$ – структурная гибкость, $k\Delta\eta_s$ – организационная гибкость и $k\Delta N$ – технологическая. Степень загрузки производственных линий и вовлеченность в процесс очень важен при многопоточной разветвляющейся организации как на АРЗ, что отражено в работе [149] основанной на теории шести сигм.

Так структурная гибкость, будет характеризоваться свойством перестроения организационной структуры предприятия при минимальных сроках с целью реализации поставленной задачи, $\Delta Am/Ac$ отношение функциональности необходимой структуры к существующей, $1/\Delta tac$ – временем перестроения и настройки а также $\Delta n_T/n_N$ – отношение необходимого и подготовленного персонала,

$$k\Delta\eta_s = \Delta \frac{Am}{Ac} * \Delta \frac{1}{tac} * \Delta n_T/n_N \quad (85)$$

При существующих факторах и характеристиках уровней гибкости согласно таблицы[10], степень организационной гибкости представляется как,

$$k\Delta\eta_{org} = \Delta 1/F * \Delta t/T * \Delta \sum F_p, \quad (86)$$

где, $\Delta 1/F$ – степень свободы принятия решения (собственник-1 или менеджер-0,5), Δt – степень отношения существующего времени принятия решения к достаточному и $\Delta \sum F_p$ – суммарная степень влияния характеристик факторов уровня гибкости на организацию нового процесса (табл.1), для данного показателя требуется детальное исследование влияния.

Для, $k\Delta\eta_{tech}$ – показателя технологической гибкости предприятия, характерна способность и готовность принимать и внедрять в частности цифровые передовые технологические решения, что актуально [126] в условиях требования «индустрии 4.0»

$$k\Delta\eta_{tech} = \Delta Ni * \Delta Sti * Lti, \quad (87)$$

где основными показателями выступают ΔNi – коэффициент запуска (новой линии, технологии, изделия) ΔSti – степень изменения внедрения новых технологических решений, Lti – уровень технологического новшества.

Для формализации всех вычислений описания оценки изменения, разложим уравнения в матрицу в табл. 40.

Таблица 40 – Матрица уравнений оценки изменения улучшений

$P_{(Imp)} = \sum_{i,j,k=1}^n P_{ik} P_{jk} P_{lk};$											
$\Delta P_{(1k)}$ $= \Delta t_{prp}(nm_{ts})$ $+ \Delta t_{prs}(nm_{ts})$ $+ \Delta t_{btw}(nm_{ts})$			$P_{(2k)}$ $= n\Delta m_{acc}$ $+ n\Delta m_{crd}$ $+ n\Delta m_{tls}$			$P_{(3k)}$ $= k\Delta L_{aco} + k\Delta L_{nf}$ $+ kn\Delta m_{es}$			$P_{(4k)}$ $= k\Delta \eta_s * k\Delta \eta_{org}$ $* k\Delta \eta_{tech}$		
$\Delta t_{prp}(nm_{ts})$	$\Delta t_{prs}(nm_{ts})$	$\Delta t_{btw}(nm_{ts})$	$n\Delta m_{acc}$	$n\Delta m_{crd}$	$n\Delta m_{tls}$	$\Delta L_{aco} = l_{exp} l_l / l_{ag}$	$\Delta L_{nf} = k_r * k_{st}$	$L_{es} = \sum kn\Delta k_{es}$	$k\Delta \eta_s = \Delta \frac{Am}{Ac} * \Delta \frac{1}{tac}$	$k\Delta \eta_{org} = \Delta 1/F * \Delta t/T *$	$k\Delta \eta_{tech} = \Delta Ni * \Delta Sti * Lti$

Для реализации полученной методики, на основании данных авиаремонтного завода оценим уровень улучшений на предприятии. Так, для 1-го направления, на основании раннего определения состояния объектов ремонта и прогнозирования нагрузки сокращено время на предварительном до 50% и операционном этапах до 11%. Так при существовавшей длительности производственного цикла ремонта вертолета Ми-2 в 20 суток сокращение времени цикла составило 2-е суток, и в течении года позволяет увеличить количество ремонтируемых вертолетов до 2-х единиц. Для второго

направления улучшены на 10% достоверность и на 5% точность диагностики путем применения новых методов. На третьем направлении были получены улучшения на 3% точность, 11% - безошибочность операций и 8% энергоэффективность процессов, благодаря загрузке производства, обучению и омоложению персонала. Заключительное четвертое направление улучшений, характеризуется увеличением степени структурной и организационной гибкости предприятия соответственно 25% и 2% при снижении степени технологического развития до 18%. Владелец процесса произвел реорганизацию штатной структуры, но существующее моральное устаревание технологических процессов отражает снижение технологической гибкости.

По полученным улучшениям, результирующий суммарный показатель улучшения достиг:

$\Delta P_{(1k)} = 50 * 0,1 + 11 * 0,6 + 0 * 0,3 = 11,6\%$ сокращения времени от общего производственного цикла, где 01, 06, 0,3 вес каждого показателя;

$$P_{(2k)} = 10 * 0,3 + 5 * 0,65 = 6,25\%$$

$$P_{(3k)} = 3 * 0,7 + 11 * 0,2 + 8 * 0,1 = 5,1\%$$

$$P_{(4k)} = 25 * 0,2 * 2 * \frac{0,6}{-18} * 0,2 = 1,6\%$$

$$P_{(tmp)} = 11,6 * 0,2 + 6,25 * 0,3 + 0,5 * 0,35 + 1,6 * 0,15 = 3,935 \approx 4,61\%$$

По результатам полученных вычислений, согласно принятым инструментам, было получено улучшение в целом на 4,61 % от текущих показателей, на основе примененных весовых коэффициентов значимости для каждого направления улучшения. Все указанные весовые показатели, принимаются индивидуально для каждого предприятия, экспертным методом. Предложенный алгоритм и матрица уравнений, позволяют упростить процедуры оценки изменений и управления улучшениями. Данная методика, доступна к любой области деятельности предприятия, нацеленного на повышение результативности.

4.5 Выводы по главе 4

В данной главе была предложена математическая модель прогнозирования перспективной производственной загрузки, позволяющая рассматривать возможные изменения на основании метода экспоненциального сглаживания. Была представлена структура системы удаленного мониторинга параметров бортовой аппаратуры легких воздушных судов, предлагаемая на основе применения штатных измерительных средств на борту ВС и дополнительного оборудования.

Также были разработаны методики по оценке эффективности инновационных решений в производственных процессах и оценки состояния улучшений в организации процессов ремонта на АРЗ позволяющие осуществлять контроль и управление требуемых параметров процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты диссертационного исследования обеспечивают повышение результативности процесса процессов диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры на основе разработанных моделей и методик. Изложены новые научно-обоснованные технические, организационные и технологические решения, имеющие значение для развития страны. В диссертационной работе получены **следующие результаты, имеющие научную новизну и практическое значение:**

1. Разработана модифицированная методика повышения точности оценки рисков диагностики РЭА отличающаяся от известных применением метода Граббса и геометрической оценки.

2. Разработана математическая модель сокращения длительности производственного цикла ремонта РЭА методом уменьшения временных потерь.

3. Разработана математическая модель прогнозирования перспективной производственной нагрузки АРЗ, отличающаяся от других исследованием четырех моделей трендов на основе экспоненциального сглаживания

4. Разработана нечеткая система оценки состояния РЭА отличающаяся от других применением базы правил Мамдани.

5. Разработана структура системы удаленной технической диагностики состояния РЭА, отличная от других применением программируемых логических контроллеров для обработки сигналов с помощью штатных датчиков на ВС.

По результатам проведенных мероприятий длительность подготовительного этапа (приемка) сократилась от 1.1 до 1,6 раза и на остальных этапах в целом до 3,2%; уменьшился объем комплектующих запасных частей на складе до 9,3%; сократилось время привлечения

производственного персонала до 4,1%. До 2,1 раза сократилось время принятия решения на планирование и подготовку производства.

В работе была учтена возможность ослабления влияния человеческого фактора на принятие решения, с учетом возможных значительных отклонений от среднего значения результата, при помощи методов Грабса и картам Шухарта. Была разработана математическая модель сокращения длительности процесса ремонта РЭА методом уменьшения временных потерь на основе декомпозиции процесса ремонта. В результате применения инструментов улучшения модели, было сокращено время цикла ремонта ВС Ми-2 до 36 часов. Дополнительно, представлено решение по повышению качества ремонта на основе достоверности показателей контроля. Была разработана нечеткая система контроля состояния бортовой радиоэлектронной аппаратуры, в результате которой получены уравнения состояния контролируемого параметра. Для повышения результативности предприятия в условиях нерегулярной загрузки производственных мощностей АРЗ, была предложена математическая модель прогнозирования перспективной производственной загрузки, благодаря которой, предприятие способно своевременно перестроить организацию ремонта и поставку комплектующих, тем самым сокращая излишние запасы и расходование энергетических и других ресурсов.

Общая результативность, достигнутая на основе разработанных методик и моделей в применении к поставленной задаче составила 58,75%. Разработанные методики и модели позволили улучшить производственные показатели деятельности на АРЗ выбранных для проведения исследования. Таким образом, задачу, поставленную в диссертационном исследовании, можно считать достигнутой.

Внедрение основных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, подтверждено актами, полученными автором от ООО «ПАНТЕС групп», ООО «РБС: Консалтинг», ООО "Геонавигатор".

На основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что решение задач, связанных с повышением результативности процессов диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры, является одной из приоритетных задач для отечественной промышленности.

Таким образом, решены все задачи, поставленные для достижения сформулированной в работе цели, и цель диссертационного исследования достигнута.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

5S – принцип организации эффективного рабочего места

ERP – (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis анализ (видов и последсивий отказов)

FTA– Fault Tree Analysis (анализ дерева отказов)

JIT – Justintime (принцип - точно во время)

Lean 6 σ – принцип сокращения потерь в пределах 6 сигм

ТОС – Theory Of Contractions (теория ограничений)

TQC – Total Quality Control (всеобщее управление качеством)

TQM – Total Quality Management (принцип – всеобщее управление качеством)

АРЗ – авиаремонтный завод

АРП – авиаремонтное предприятие

АТ – авиационная техника

ВС – воздушное судно

ЖЗ – жизненный цикл

ТОиР – техническое обслуживание и ремонт

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воздушный Кодекс Российской Федерации (принят Государственной Думой 19 февраля 1997 г., одобрен Советом Федерации 5 марта 1997 г.)
2. Указ Президента РФ от 08.08.98 №938 «О повышении безопасности полетов в Российской Федерации и мерах по совершенствованию деятельности в области авиации» и Указом от 11.11.98 № 1357.
3. Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года. Утв. распоряжением правительства Российской Федерации от 17 января 2020 года №20-р.
4. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года. URL:
<http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201805070038.pdf>.
5. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. 25с. URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201612010007.pdf>.
6. Международные стандарты и Рекомендуемая практика. Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. Эксплуатация воздушных судов. Часть II. Международная авиация общего назначения. Самолеты. Издание десятое, июль 2018 года. ISBN 978-92-9258-499-3.
7. Международные стандарты и Рекомендуемая практика. Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. Эксплуатация воздушных судов. Часть III. Международные полеты. Вертолеты. Издание девятое, июль 2018 года. ISBN 978-92-9258-500-6.

8. Международные стандарты и Рекомендуемая практика. Приложение 8 к Конвенции о международной гражданской авиации. Летная годность воздушных судов. Двенадцатое издание, июль 2018 года. ISBN 978-92-9258-534-1.
9. Международные стандарты и Рекомендуемая практика. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. Издание второе, июль 2016 года. ISBN 978-92-9249-969-3.
10. Антонец В.А., Нечаева Н.В. Основы коммерциализации технологий. Нижний Новгород: НГУ им. Лобачевского Н.И., 2007. 108 с.
11. Антохина Ю.А., Варжапетян А.Г., Инянц Н., Оводенко А.А., Семенова Е.Г., Смирнова М.С. Интеграция моделей, методов и инструментов управления проектами: монография. - СПб.: Политехника, 2015. – 360 с.
12. Альманах «Управление производством» 2013. № 1.
13. Арепьев А.Н. Принципы технического регламента в области безопасной эксплуатации воздушных судов НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МГТУГА. 2006. № 103. С62-6бсерия Аэромеханика и прочность, поддержание летной годности ВС.
14. Балашов В.М., Морозов С.А., Смирнова М.С. Управление производственно-технологическими комплексами в условия неопределенности // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №2. С.86-89.
15. Барвинский А.П, Козлова Ф.Г. Электрооборудование самолетов: Учеб. пособие. – М.: Транспорт, 1981. – 288 с.
16. Барютин Л.С. и др. Основы инновационного менеджмента. Теория и практика: / Под ред. А. Казанцева, Л.Э Миндели. М.: ЗАО «Издательство «Экономика». 2004. 518 с.
17. Басовский Л.Е., Протасьев В.Б. (2001). Управление качеством. М: ИНФРА, 212 с.
18. Батьковский М.А., Кураев Н.М., Стяжкин А.Н., Фомина А.В. Оценка производственно-технологического потенциала специального

производства предприятий оборонно-промышленного комплекса// Вопросы радиоэлектроники. 2016. №5. С.113-125

19. Белман Р. Динамическое программирование / пер. с англ. И.М. Андреевой, А.А. Корбута, И.В. Романовского, И.Н. Соколовой. под. ред. Н.Н. Воробьева – М.: Издательство иностранной литературы, 1960.

20. Бразилович Ю.Г., Глухов В.В., Емельянов В.Е., Кузьмин А.Б. Обобщенные модели эксплуатации по состоянию, ремонта и диагностики авиационных систем. Учебное пособие. М.: МГТУ ГА, 1999, -72 с., ил.

21. Васильев В.И., Жернаков С.В. Контроль и диагностика технического состояния авиационных двигателей на основе экспертных систем // Вестник УГАТУ. 2007. №4. С. 11–23.

22. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М., 1969. – 567 с.

23. Виноградов А.С. Надежность авиационных двигателей и энергетических установок Учеб.пособие / Сост. А.С. Виноградов – Самара: Изд-во Самара гос. аэрокос. ун-та, 2011. – 73с., ил

24. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. М.: Академия, 2008. 368 с.

25. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования: учебник. - М.: МГТУ ГА, 2010. – 448 с.

26. Воробьев В.Г., Константинов В.Д.. Техническое обслуживание и ремонт авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов: учебник // М.: МГТУ ГА; Университетская книга, 2007.—472 с.

27. Волкова Е.С., Гисин В.Б. Нечеткие множества и мягкие вычисления в экономике и финансах: учебное пособие. Изд. 2-е. — М.: Финансовый университет, 2016. — 184 с.

28. Втюрин В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. СПб: Лесотехническая академия, 2006. 152 с.

29. Вумек Джеймс П., Джонс Дэниел Т. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Пер. с англ. - 2-е. изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 473 с.
30. Горячева Г.А., Добромыслов Е.Р. Конденсаторы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1984. -88с., -ил.
31. Голубинский Ю.М., Елистратов А.Г., Пискунова В.А., Чернова Е.С. Применение риск-ориентированного мышления в новой версии стандарта ISO 9001:2015 // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. № 2(16). С. 21-27.
32. Авиационный стандарт ОСТ 1 02785-2009 С. Воздушные суда гражданской авиации. Эксплуатационно-технические характеристики. Общие требования.
33. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
34. ГОСТ 20911 89 Техническая диагностика термины и определения.Официальное издание М.: Стандартиформ, 1989.
35. ГОСТ Р 53863-2010. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения. Официальное издание М.: Стандартиформ, 2011.
36. ГОСТ 9100-2011 Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной промышленности. Требования.Официальное издание М.: Стандартиформ, 2011.
37. ГОСТ 19838-82 Характеристика контролепригодности изделий авиационной техники. Правила изложения и оформления
38. ГОСТ Р 56079-2014. Безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность. Официальное издание М.: Стандартиформ, 2014.
39. ГОСТ Р 50779.42 – 99. (2000). Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. М.: ИПК издательство стандартов. 2000-37 С.

40. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 62 с.

41. ГОСТ Р ИСО 31000-2010 Менеджмент риска. Принципы и руководство. - М.:ФГУП «Стандартинформ», 2018.

42. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска.-М.: ФГУП «Стандартинформ», 2012.

43. ГОСТ Р 51814.2 -2001 Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. Госстандарт России. ИПК издательство стандартов, Москва. – 2001. 19с.

44. ГОСТ Р 51901.12 – 2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2008. 40 с.

45. ГОСТ Р 51901.13-2005 (МЭК 61025:1990) Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей. Госстандарт России. ФГУП «Стандартинформ», Москва, 2005. -12с.

46. ГОСТ Р 53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения. Москва Стандартинформ 2010.

47. ГОСТ Р ЕН 9100-2011. Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной промышленности. Требования. М.: Стандартинформ 2012. 31с.

48. Даев Ж.А., Султанов Н.З. Система автоматического контроля влажности природного газа на основе нечеткой модели Мамдани. Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности 10/2018. С 22-25.

49. Дашков И.Д., Зубков Б.В. Оценка соответствия функциональных систем воздушных судов требованиям норм летной годности // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. №205. С. 22 - 28.

50. Даугелло В.А. Риски предприятия технического сервиса, возникающие в процессе ремонта машин // Ремонт, восстановление, модернизация. 2017. № 6. С. 17-20.

51. Детмер У. Теория ограничений Голдрата. Системный подход к непрерывному совершенствованию. Пер с англ. М.:АЛЬПИНА БИЗНЕС БУКС, 2007.

52. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Изд. «МИР». 1976. 166 с.

53. Зайцев Н.Л. Экономика, организация и управление предприятием. М.: ИНФРА-М. 2008. 455 с

54. Зюскин А.А. Оценка эффективности управленческих решений. СПб.: Изд. Санкт-Петербургского университета управления и экономики. 2012.148 с.

55. Иванов Ю.П., Никитин В.Г., Чернов В.Ю. Контроль и диагностика измерительно-вычислительных комплексов. СПбГУАП. СПб, 2004. 98 с.:ил.

56. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Показатели эффективности процессов поддержания лётной годности воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. №178. С.21 - 27.

57. Карандашов К.К. Допуски и посадки в машиностроении. [Текст]. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2006. – 152 с..

58. Кенжебаев К.Ж. Пути повышения эффективности технического обслуживания и ремонта воздушных судов в современных условиях. дис. канд. тех. наук. Алматы, 2007. 157 с.

59. Красько С.Е. Обоснование оптимальных процедур обслуживания по состоянию систем воздушных судов гражданской авиации, подверженных в процессе эксплуатации случайным ударным нагрузкам и деградациям. дис. канд. тех. наук. М., 2003. 214 с.

60. Кобаяси, И. 20 ключей к совершенствованию бизнеса. Практическая программа революционных преобразований на предприятиях;

пер. с япон. А. Н. Стерляжникова –М.: РИА «Стандарты и качество», 2006. – 248с., 180 ил. – (Серия «Деловое совершенство»)

61. Коршунов Г. И., Нурушев Е. Т., Влияние вероятности обнаружения отказов и неисправностей на качество ремонта воздушных судов// Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сб. докл. / СПб.: ГУАП, 2016. С101-104.

62. Коршунов Г. И., Нурушев Е. Т., Поляков С. Л. Повышение качества ремонта авиационной техники на основе оценки достоверности показателей контроля // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 5. С. 11–15.

63. Коршунов Г. И., Нурушев Е. Т. Организация процессов ремонта воздушных судов на основе модели состояний // Вопросы радиоэлектроники, 6/2016 - Серия ОТ. - Вып. 5. - С.19-22.

64. Коршунов Г. И., Нурушев Е. Т., Поляков С. Л. Совершенствование процессов ремонта авиационного и радиоэлектронного оборудования воздушных судов// Вопросы радиоэлектроники, 2017. № 10. С6-9.

65. Коршунов Г. И., Нурушев Е. Т., Поляков С. Л. Нечеткая система контроля состояния бортового радиоэлектронного оборудования // Наука и бизнес. Пути развития 2020. №6 (108).

66. Коршунов Г.И., Поляков С.Л. Сокращение времени производственного цикла на основе внедрения методов менеджмента и технологических инноваций // Информационно управляющие системы №4, 2013. С. 78-82.

67. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б. Расширение области применения критериев типа Граббса, используемых при отбраковке аномальных измерений // Измерительная техника. 2005. №6. С. 13-19.

68. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М.: Финансы и статистика, 2003. 416 с.

69. Макаров В.П. Разработка в авиакомпании системы менеджмента рисков в отношении безопасности полетов // Электронный журнал «Труды МАИ». 2013. №9 (68). С.1-15.

70. Майкл Л. Джорж. Бережливое производство + шесть сигм: комбинируя качество шести сигм со скоростью бережливого производства / пер. с англ. / 3-е изд. - М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 306 с.

71. М.С. Мазорчук, К.А. Симонова, Л.Д. Греков Применение методов и моделей нечеткой логики для моделирования экономических процессов. Системи обробки інформації, 2007, випуск 9 (67).

72. Меньков А.В., Острейковский В.А. Теоретические основы автоматизированного управления. М.: Оникс, 2005. 640 с.

73. Международный авиационный комитет [Электронный ресурс] / Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств - участников Соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в 2013 г. Режим доступа: <http://www.mak-iac.org>. (дата обращения: 28.06.2017).

74. Морозов А.Н. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации об использовании воздушного пространства в 2012 году. Сборник трудов общества независимых расследователей авиационных происшествий, выпуск №25. Составители: Президент ОРАП С.В. Зайко, Член совета ОРАП Р.С. Секлетов.- М.: 2013г. - 390с

75. Мусин С.М., Аршакун С.А. Мониторинг системы управления безопасностью полетов в авиапредприятиях корпоративной и деловой авиации общего назначения. Сборник трудов общества независимых расследователей авиационных происшествий, выпуск №25. Составители: Президент ОРАП С.В. Зайко, Член совета ОРАП Р.С. Секлетов.- М.: 2013г. - 390с.

76. Назаревич С.А. Методика оценки технического уровня новшества // Стандарты и качество.2014. № 6. С. 924.

77. Нурушев Е.Т., Хисматулин Р.М., Даев Ж.А. Проблемы и решение задач авиаремонтного завода в условиях неопределенности состояния объектов ремонта//Автоматизация и современные технологии. Том 72. 2018. №1 с.7-10.

78. Нурушев Е.Т. Методика оценки эффективности инновационных решений// Ремонт, Восстановление, Модернизация. №7, 2018 С. 3-7.

79. Нурушев Е.Т. Критерии безопасности состояния воздушных судов в условиях неопределенности состояния// Мехатроника, автоматика и робототехника Материалы международной научно-практической конференции.- Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. - №1, С80-84.

80. Нурушев Е.Т., Даев Ж. А. Совершенствование метода анализа видов и последствий отказов для авиационных предприятий// Машиностроение и инженерное образование, 2017, № 2, С68-72

81. Нурушев Е.Т., Даев Ж. А. Оценка стоимости затрат на поддержание летной годности воздушных судов на основе риск-ориентированного подхода // Контроль. Диагностика, № 11. 2017г, С60-63

82. Нурушев Е.Т., Даев Ж. А., Хисматуллин Р.М. Проблемы и решение задач в условиях неопределенности состояния объектов ремонта// Автоматизация. Современные технологии, Том 72. 2018. № 1.

83. Нурушев Е.Т., Даев Ж. А., Кайракбаев А.К. Вопросы построения автоматизированных систем управления авиаремонтным предприятием // Ремонт, восстановление, модернизация. 2018. № 5. С.

84. Нурушев Е.Т., Даев Ж. А. Применение статистических критериев для улучшения эффективности методов оценки рисков// Надежность, том 18, №2, 2018.

85. Нурушев Е.Т. Система оценки состояния авиационного оборудования на основе нечеткой логики// Технология машиностроения. 2021 (1) 68-74.

86. Огунвоул Б.Д., Баланчук Е.А., Кандыба К.С Моделирование отказов в автоматизированной системе управления воздушным судном. Научный вестник МГТУ ГА Том.20,№04, 2017.

87. Орлов К.Я., Пархимович В.А. Ремонт самолетов и вертолетов: Учебник для авиационных училищ. – М.: Транспорт, 1986. - 285 с.

88. Прохорова И.А. Теория систем и системный анализ: учебное пособие / Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 49 с.

89. Прикладные нечеткие системы. / Пер. с япон. К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др. / Под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. М.: Мир. 1993. 368 с.

90. Репин А.Ю. Информационная система получения, обработки и передачи информации как параметр эффективной работы авиапредприятия по обеспечению летной годности воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2010. №162. С. 162 – 166.

91. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. -М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. – 408 с.

92. Рентюк В. Зависимость времени наработки на отказ электролитических конденсаторов от реальных условий их эксплуатации. Вестник электроники №3(49), октябрь, 2014.

93. Решетов С.А. Электрооборудование воздушных судов: Учеб. для вузов / С.А. Решетов, С.П. Кононов, Н.В. Максимов и др. ; под ред. С.А. Решетова. М.: Транспорт, 1991.- 319с.

94. Руководство по управлению безопасностью полетов. ИКАО. 2009. 293 с.

95. Розенталь Р. Методика FMEA. Путь повышения качества продукции // Электроника: наука, технология, бизнес. 2010. № 7. С. 90 – 95.

96. Родионова В.Н., Туровец О.Г. Комплексная оценка и планирование организационной гибкости производственных систем// Организатор производства. 2016. № 3.

97. Скляр О. К. волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: СОЛОН- Пресс, 2010.- 272 с.: ил.

98. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. М.: Транспорт, 1987. 272 с.

99. Советов Б.Я., Цехановский В.Д., Чертовской В.Д. Теоретические основы автоматизированного управления. М.: Высшая школа, 2006. 463 с
100. Технические условия: ОЖО 464. 049 ТУ. Конденсаторы оксидно-электролитические объемно-пористые танталовые К52-2. Электронный адрес <https://eandc.ru/pdf/kondensator/k52-2.pdf>.
101. Вертолет Ми-8. Инструкция по технической эксплуатации. Кн.3. Авиационное оборудование.
102. Теория организации: учебник / В.Н. Парахина, Т.М. Федоренко, Е.Ю. Шацкая. – 6-е изд., перераб. – М.: КНОРУС, 2014. -360 с. - (Бакалавриат).
103. Тихонов В.И., Миронов В.А. Марковские процессы. - М.: Советское радио, 1977. - 488 с.; с ил.
104. Томсон –мл., Артур , А., Стрикленд Ш, А., Дж. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа. М.: Издательский дом «Вильямс». 2006. 928 с.
105. Техническое описание генератора постоянного тока СТГ-12ТМО
106. Тоноян С.А., Балдин А.В., Елисеев Д.В. Прогнозирование технического состояния электронных систем с адаптивными параметрическими моделями Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2016. № 6.
107. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка. Невинномысск: СКГТУ, 2006. 221 с.
108. Тайити Оно. Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства/ пер. с англ. А. Грязновой, А. Тягловой.- М.: Институт комплексных стратегических исследований. 2005. 181 с.
109. Федоров Ю.Н. Порядок создания, модернизации и сопровождения АСУТП. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 576 с.
110. Хоббс Д.П. Внедрение бережливого производства: практическое рук. по оптимизации бизнеса / Деннис П. Хоббс; пер. с англ. П.В. Гомолко

(гл.1-3), А.Г. Петкевич; науч. ред. Д.В. Середа. – Минск: Гревцов Паблішер 2007. – 352 с.

111. Чернов В. Ю. 4 4 9 Надежность авиационных приборов и систем: учебное пособие / В. Ю. Чернов. — СПб.: ГУ АП, 2008. — 148 с.: ил.

112. Чернов В. Г. Основы теории нечетких множеств: учеб.пособие / В.Г. Чернов; Владим. гос. ун-т.- Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 96 с.

113. Шевчук Д.О. Волоконно-оптические интеллектуальные системы для диагностики конструктивной целостности самолетов Вестник Национального Авиационного Университета том: 2 номер: 42 год: 2010 страницы: 78-83.

114. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений. СПб.: Питер, 2010. 192 с.

115. Штайн Э. Философия Lean. Бережливое производство на работе и дома // Э.Штайн –«АФ Паблшинг», 2014 – (Библиотека делового человека).

116. Ясухиро Монден. Система менеджмента Тойота./ пер. с англ. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2007. - 216 с.

117. Annex 6 ICAO. International Commercial Air Transport — Aeroplanes. Edition 9, November 2018.

118. Annex 8 ICAO. Airworthiness of Aircraft. Edition 12, November 2018.

119. Abdelgawad, M., Fayek, A. R. (2010). Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP. Journal of Construction Engineering and Management, 136, 1028–1036.

120. Alireza Ahmadi, Peter Soderholm, Uday Kumar. Reviews and case studies. On aircraft scheduled maintenance program development. Journal of Quality in Maintenance Engineering Vol. 16 No. 3, 2010 pp. 229-255

121. Ben-Daya, M., & Raouf, A. (1996). A revised failure mode and effects analysis model. International Journal of Quality & Reliability Management, 13, 43–47.

122. Chen, J. K. (2007). Utility priority number evaluation for FMEA. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 7, 321–328.
123. Chwastyk P., Kołosowski M. Estimating the Cost of the New Product in Development Process // *Procedia Engineering* 69. 2014. P. 351–360.
124. Christensen C.M. *The Innovator's Dilemma*, Collins Business Essentials , 2005.
125. C. F. von Gleich A. Schu" tt R. Isenberg. SMART ramp-up: methods to secure production ramp-up in the aircraft industry. *German AerospaceCongress*, September 27–29.
126. Demartini Melissa, Evans Steve, Tonelli Flavio *Digitalization Technologies for Industrial Sustainability // Procedia Manufacturing* 33 (2019) 264–271. 16th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Sustainable Manufacturing for Global Circular Economy.
127. Frambach R.T., Schillewaert N. Organizational innovation adoption: A multilevel framework of determinants and opportunities for future research. // *Journal of Business Research* 55. 2002. P. 163–176.
128. Fact Sheet – General Aviation Safety. Federal aviation administration of USA <https://www.faa.gov>.
129. Georgieva Olga And Dimov Aleksandar. Software Reliability Assessment Via Fuzzy Logic Model *CompSysTech '11 Proceedings of the 12th International Conference on Computer Systems and Technologies* pages 653-658.
130. Günther Lisa C., Colangelo Eduardo, Wiendahl Hans-Hermann, Bauer Christian. Data quality assessment for improved decision-making: a methodology for small and medium-sized enterprises *Procedia Manufacturing*, Volume 29, 2019, Pages 583-591.
131. Hung D.L. and Zajak W. F. Design and Implementation of a Hardware Fuzzy Inference System. *Information sciences* 3, 193-207 (1995).
132. Iyyer Nagaraja, Sarkar Subhasis, Merrill Robert, Phan Nam. N. Iyyer et al. Aircraft life management using crack initiation and crack growth models – P-3C Aircraft experience. / *International Journal of Fatigue* 29 (2007) 1584–1607.

133. ICAO Safety Report 2019 Edition.
134. Jany Kilpy, Juuso Toyli, Airi Vebsalainen Cooperative strategies for the availability service of repairable aircraft components *International Journal of Production Economics* Volume 117, Issue 2, February 2009, Pages 360-370.
135. Jingyao Gu, Guoqing Zhang, , Kevin W. Li. Efficient aircraft spare parts inventory management under demand uncertainty. *Journal of Air Transport Management* xxx (2014) 1e9.
136. Kenneth A. Potocki and Richard C. Brocato, A System of Management for Organizational Improvement / JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST, VOLUME 16, NUMBER 4 (1995) C403-412. Электронный ресурс <http://www.jhuapl.edu/techdigest/td/td1604/Potocki.pdf>. Доступ 10.09.2017.
137. Kyriacos M. Deliparaschos A parameterized T-S digital fuzzy logic processor: Soft core VLSI design and FPGA implementation.
138. Korshunov G I, Polyakov S L, Nurushev E T, Smirnova V O. The refined method of risk assessment of the technical condition determination of the aviation equipment critical elements// International Scientific Conference "Applied//Physics, Information and Engineering Technologies - APITECH-2019" in September 25-27, 2019 in Krasnoyarsk, Russia/
139. Korshunov G I, Polyakov S L, NurushevET, G V Getmanova. The remote technical equipment monitoring system for light aircraft// *Journal of Physics: Conference Series* 1515 (2020) 022057 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1515/2/022057.
140. Liu, H.-C., Liu, L., Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40, 828 – 838.
141. MacLean Leonard, Richman Alex and HudakMark // *Failure Rates for Aging Aircraft.Safety*, 2018, 4(1), 7.
142. Mamdani E.H., M.Sc.(Eng.) B.E. Ph.D., Mem. I.E.E.E. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant/ *Proceedings of the Institution*

of electrical engineers Control & Science / PROC. IEE, Vol. 121, No. 12, December 1974.Pp. 1585–1588.

143. Melia Eka Lestiani, Gatot Yudoko, Yassierli, Heru Purboyo Developing a Conceptual Model of Organizational Safety Risk:Case Studies of Aircraft Maintenance Organizations in Indonesia Melia Eka Lestiani et al. / Transportation Research Procedia 25 (2017) 136–148.

144. Mike Gerdes, Dieter Scholz, Diego Galar. "Effects of condition-based maintenance on costs caused by unscheduled maintenance of aircraft", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 22 Iss 4 pp.

145. Molent, L.; Jones, R. A stress versus crack growth rate investigation (aka stress—cubed rule). Int. J. Fatigue 2016, 87, 435–443.

146. Massoud Bazargan , (2016),"Airline maintenance strategies – in-house vs. outsourced – an optimization approach", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 22 Iss 2 pp. 114 – 129

147. Pacaiova H., Sinay J., Nagyova A. Development of GRAM – A risk measurement tool using risk based thinking principles // Measurement. 2017. Vol. № 100. P. 288-296.

148. Ruyu Cui, Xingye Dong, Youfang Lin Models for aircraft maintenance routing problem with consideration of remaining time and robustnessComputers & Industrial Engineering, Volume 137, November 2019, Article 106045.

149. Siyu Chen, Shuhai Fan, Jiawei Xiong, Wenqian Zhang The Design of JMP/SAP Based Six Sigma Management System and its Application in SMED Procedia Engineering 174 (2017) 416 – 424.

150. Yixiang Lim, Alessandro Gardi, Roberto Sabatini, Subramanian Ramasamy, Trevor Kistan, Neta Ezer, Julian Vince, Robert Bolia. Avionics Human-Machine Interfaces and Interactions for manned and unmanned aircraft // «Progress in Aerospace Sciences» xxx (2018) 1–46 pp.

151. Ways to Crash an Airplane.Jeb Burnside. February 2017 Issue. Режимдоступа - <http://www.aviationsafetymagazine.com>. Яз. англ.

152. Zadeh L. A., "Fuzzy sets," Inform. Contr., vol. 8, pp. 338-353, 1965.

153. Zadeh lotfi A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, vol. Smc-3, no. 1, January 1973.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Циклограмма этапов ремонта вертолета Ми-2

№ п. п.	Этапы ремонта	Рабочие дни																				Доля	Улучшения
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1	Приемка ВС в ремонт	■																				1/20	Диагн.
2	Разборка агр-ов АйРЭО		■	■																		1/10	Механ-я
3	Разборка а-тов системы		■	■																		1/10	Механ-я
4	Промывка аг-тов АйРЭО				■																	1/20	Автом
5	Промывка агр-тов систем			■	■	■																1/7	Автом
6	Промывка фюз-жа и хв.балки		■	■	■																	1/7	Неприм.
7	Комплектовка в ремонт		■	■	■																	1/7	Диагн.
8	Дефектация фюз-жа и хв.балки					■																1/20	Неприм.
9	Дефектация агр-ов систем					■	■	■														1/7	Диагн
10	Ремонт фюзеляжа и хв.балки						■															1/20	Неприм.
11	Ремонт АйРЭО				■	■	■	■	■													1/4	Диагн.
12	Ремонт агрегатов систем					■	■	■	■	■												1/4	Неприм
13	Окраска фюзеляжа и хв.балки							■	■													1/10	Автом-я
14	Окраска изделий								■													1/20	Механ-я
15	Окраска капотов									■												1/20	Неприм.
16	Окраска вн. панелей										■											1/20	Неприм.
17	Комплект-ка из рем-та АйРЭО							■	■													1/10	Неприм.
18	Компл-ка из рем-та агр. систем							■	■													1/10	Неприм.
19	Монтаж агр-тов АйРЭО								■	■	■	■										1/4	Механ-я
20	Монтаж трансмис. и СУ на стенде									■	■											1/10	Неприм.
21	Монтаж агр-тов планера										■	■	■	■								1/5	Механ-я
22	Проверка под током сист. АйРЭО											■										1/20	Неприм.
23	Комплексный осмотр															■						1/20	Неприм.
24	Доводка и заключ. раб. по монтажу															■	■					1/10	По результат
25	Доводка после ремонта																■	■				1/10	Неприм.
26	Обслуживание на ЛИС																	■	■	■		1/7	Неприм.
27	Передача заказчику																				■	1/20	Неприм.

Прим. Красным цветом отмечены операции позволяющие повысить скорость или сократить время ручных операции, зеленым – операции не подвергающиеся модернизации. Процессы автоматизации эффективны при поточно-конвейерном организованном процессе ремонта.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Классификация процессных рисков предприятия

РИСКИ ПРЕДПРИЯТИЯ	
Внешние риски ВнРП	Внутренние риски ВтРП
<i>Природные</i>	<i>Природные</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Моральное старение продукта (услуги) • Технологические инновации • Климатические воздействия • Финансовые, изменение курса валют • Политические факторы 	<ul style="list-style-type: none"> • Ритмичность производственного процесса • Совершенство методов и способов • Экологичность
<i>Метрологические</i>	<i>Метрологические</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Несоответствие стандартов • Рекламационные события 	<ul style="list-style-type: none"> • Ошибки измерения • Ошибки контроля • Ошибки анализа и оценки • Квалификация персонала • Надежность оборудования • Возрастной ценз персонала • Качество условий труда
<i>Поведенческие</i>	<i>Поведенческие</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Стратегия руководства • Действия конкурентов • Ограничительные решения гос.органов • Внешнеполитическая ситуация • Переход потребителя на новый продукт • Налоговая политика <p>Распространение и влияние инноваций</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Политика и стиль руководства • Традиции и ценности коллектива • Морально-психологический климат • Мотивационные инструменты <p>эффективности</p> <ul style="list-style-type: none"> • Миграция персонала • Социальная обеспеченность персонала <p>Инновационная активность персонала</p>
<i>Целевые</i>	<i>Целевые</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Направление развития • Стратегические цели • Конкурентоспособность 	<ul style="list-style-type: none"> • Загруженность производства • Эффективность • Платежеспособность

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Начальные правила и правила формирования состояния «отказ».

Rule 1: *IF* ($t = X_1$) *and* ($f = Y_1$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_1$);

Rule 2: *IF* ($t = X_2$) *and* ($f = Y_1$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_1$);

Rule 3: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_1$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_1$);

Rule 4: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_1$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

Rule 5: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_1$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

...

Rule 9: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_2$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

Rule 10: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

...

Rule 14: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_3$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

Rule 15: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_3$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

...

Rule 20: *IF* ($t = X_1$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

...

Rule 24: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 25: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

...

Rule 29: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_6$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 30: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_6$) *and* ($l = Z_1$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

...

Rule 43: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_2$) *and* ($l = Z_2$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

Rule 44: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_3$) *and* ($l = Z_2$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

Rule 45: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_2$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 46: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_2$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 47: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_6$) *and* ($l = Z_2$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

...

Rule 61: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_1$) *and* ($l = Z_3$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

Rule 62: *IF* ($t = X_1$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_3$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 63: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_2$) *and* ($l = Z_3$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

Rule 64: *IF* ($t = X_2$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_3$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 65: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_3$) *and* ($l = Z_3$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

Rule 66: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_3$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 67: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_3$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

Rule 68: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_3$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 69: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_6$) *and* ($l = Z_3$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

...

Rule 81: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_4$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);

- Rule 82: *IF* ($t = X_1$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_4$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 83: *IF* ($t = X_2$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_4$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 84: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_4$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 85: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_4$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 86: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_4$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 87: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_4$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 88: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_6$) *and* ($l = Z_4$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 89: *IF* ($t = X_1$) *and* ($f = Y_1$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 90: *IF* ($t = X_1$) *and* ($f = Y_2$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 91: *IF* ($t = X_2$) *and* ($f = Y_1$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 92: *IF* ($t = X_2$) *and* ($f = Y_2$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 93: *IF* ($t = X_2$) *and* ($f = Y_3$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 94: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_2$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 95: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_3$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 96: *IF* ($t = X_1$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 97: *IF* ($t = X_2$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 98: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 99: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 100: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_3$) = (отказ);
- Rule 101: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 102: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_6$) *and* ($l = Z_5$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 103: *IF* ($t = X_1$) *and* ($f = Y_1$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 104: *IF* ($t = X_1$) *and* ($f = Y_2$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 105: *IF* ($t = X_2$) *and* ($f = Y_2$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 106: *IF* ($t = X_2$) *and* ($f = Y_3$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 107: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_3$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 108: *IF* ($t = X_3$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 109: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_3$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);
- Rule 110: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 111: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_4$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

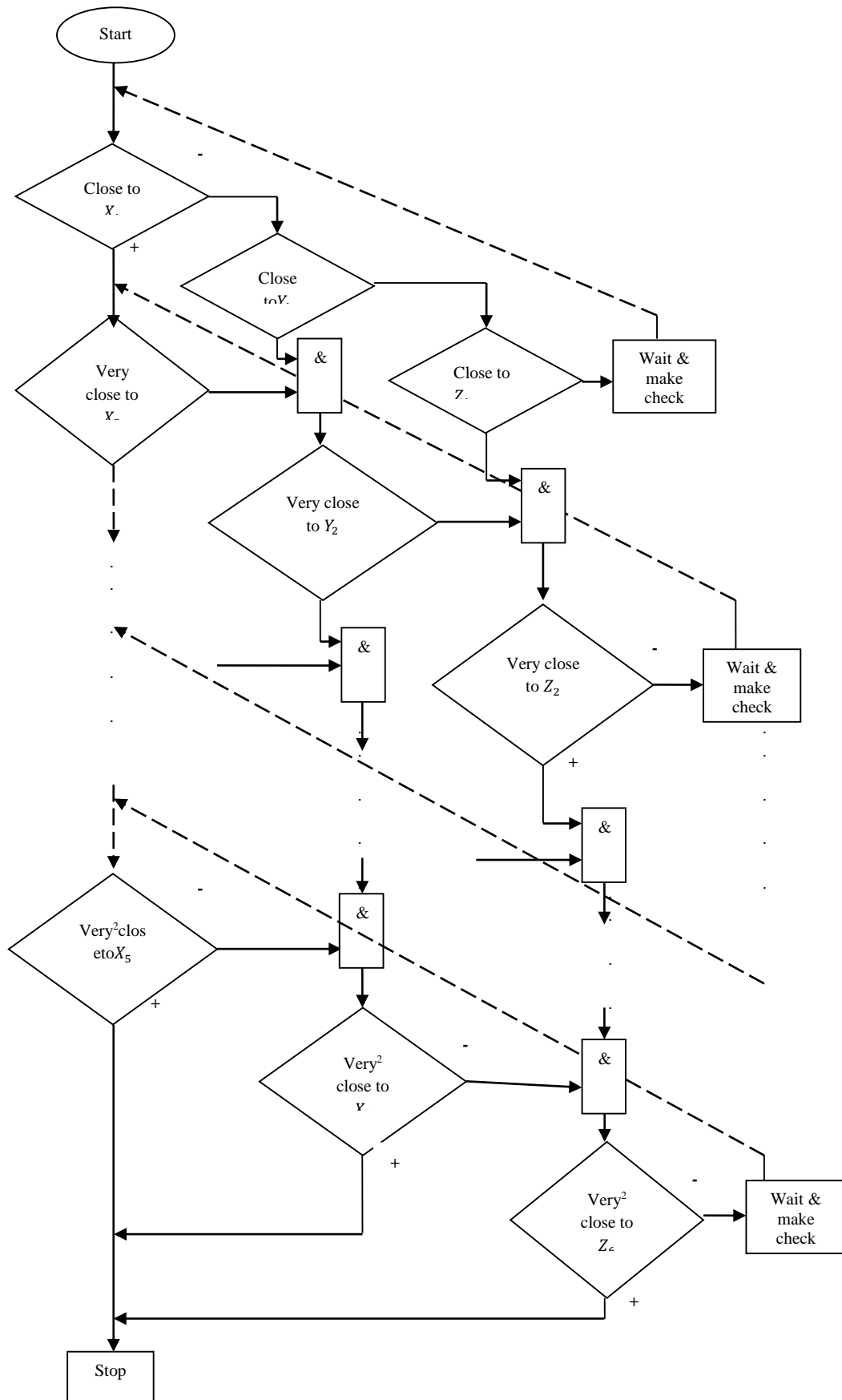
Rule 112: *IF* ($t = X_4$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 113: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_5$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ);

Rule 114: *IF* ($t = X_5$) *and* ($f = Y_6$) *and* ($l = Z_6$) *THEN* ($p = W_4$) = (отказ).

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Структура алгоритма контроля состояния БРЭО



ПРИЛОЖЕНИЕ 5**Акт внедрения ООО «ПАНТЕС групп»**

ООО «ПАНТЕС групп» ИНН 5406562761 КПП 780601001

Юридический адрес: 195248, г. Санкт-Петербург, вн.тер.г. муниципальный округ Пороховые, пр-кт Ириновский, д. 2, литера А, помещ. 10Н, ком. 314
Почтовый адрес для финансовых документов: 195248, г. Санкт-Петербург, а/я 57

КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОНИКИ



УТВЕРЖДАЮ
Директор по производству
Кандидат технических наук

К.А. Брусенцов

19 ноября 2019 г

Акт

**о внедрении результатов диссертационной работы
НУРУШЕВА Ермака Тургалиевича, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.02.22 –
Организация производства (радиоэлектроника и приборостроение)**

Комиссия в составе:

Председатель: Брусенцов Кирилл Аркадьевич, к.т.н., директор по производству

Члены комиссии:

1. Пестова Анна Александровна, менеджер по управлению качеством;
2. Галиаскаров Рамиль Минигалимович, инженер метролог,

назначенная приказом Генерального директора от 02. Ноября 2019 года № 86/к, настоящим подтверждает, что в рамках системы менеджмента качества ООО «ПАНТЕС групп» внедрены следующие результаты диссертационной работы «Модели и методики повышения результативности процессов диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры»:

1. Предложена математическая модель сокращения длительности процесса ремонта РЭА методом уменьшения временных потерь и отличающаяся от известных применением принципа оптимальности на основе теории ограничения

2. Математическая модель прогнозирования перспективной производственной нагрузки авиаремонтного завода отличающаяся от известных применением метода экспоненциального сглаживания

Внедрением представленных результатов предусмотрено:

1. Сократить время подготовительных операций для процесса монтажа печатных плат до 3,2 %.
2. Уменьшить время принятия решения на планирование производственной нагрузки и подготовку до 2,1 раза.

Председатель:

Брусенцов Кирилл Аркадьевич

Члены комиссии:

Пестова Анна Александровна

Галиаскаров Рамиль Минигалимович

тел./факс: +7 (812) 740-71-99, +7 (812) 740-71-98; +7 (495) 229-31-43

e-mail: pantес@pantes.ru www.pantes.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Акт внедрения ООО «Геонавигатор»



ООО
«Геонавигатор»

Адрес места нахождения:
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, д.8, лит. Н, пом.1Н, комн.5
Почтовый адрес:
191123, Санкт-Петербург, Шпалерная ул., д.38, лит. А, пом.1Н

Тел. 8(812) 275-84-48
Факс 8(812) 339-13-29
E-mail: info@geonavigator.net
Сайт: www.geonavigator.net

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»
(ГУАП)

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская д.67, лит. А

25.02.2021 № 1/2502-3

на № _____ от _____

Акт о внедрении

АКТ о внедрении

результатов диссертационной работы Нурушева Еркема Тургалиевича
в организацию производства, выполненной на тему

**«Модели и методики повышения результативности процессов
диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры»**

Комиссия в составе:

председатель: директор, КТН, профессор Пухов Г.Г.,
члены комиссии: технический директор, КТН, доцент Мороз Н.В.,
начальник экономического отдела, КЭН, Жугайло Г.Ю.,

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы **Модели и методики повышения результативности процессов диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в деятельности при планировании и организации производства ООО «Геонавигатор».

Так в частности:

- модифицированная методика повышения точности оценки рисков диагностики радиоэлектронной аппаратуры экспертной группой с целью повышения результативности организации ремонта оборудования воздушных судов;
- математическая модель прогнозирования перспективной производственной нагрузки авиаремонтного завода отличающаяся на основе применения метода экспоненциального сглаживания при подготовке планирования производственной загрузки;
- методика оценки состояния авиационной и радиоэлектронной аппаратуры воздушных судов по текущим показателям диагностики с применением нечеткой логики.

Предлагаемые решения нашли свое применение в области организации диагностики и поиска несоответствий изделий авионики: бортового оборудования спутниковой навигации БМС-индикатор и систем раннего предупреждения близости земли СРПБЗ-TAWS, результатами которой явилось решение о внесении корректирующих мероприятий в документированную процедуру системы менеджмента качества и управления предприятием ООО «Геонавигатор». Внедрение позволило уменьшить временные затраты на работу персонала посредством сокращения влияния человеческого фактора на процессы планирования и организации подготовки навигационных баз данных от 1,1 до 1,6 раз за счет применения модели прогнозирования перспективной производственной нагрузки.

Председатель комиссии

Члены комиссии:



Г.Г. Пухов

Н.В. Мороз

Г.Ю. Жугайло

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Акт внедрения ООО «РБС: Консалтинг»

**АКТ О ВНЕДРЕНИИ**

результатов диссертационной работы

Нурушева Ермака Тургалиевича

**«Модели и методики повышения результативности процессов диагностики
и ремонта радиоэлектронной аппаратуры»**

В разработках ООО «РБС:Консалтинг»

Комиссия в составе:

Председателя, генерального директора Синицына О.В.,

членов комиссии: главного методиста-консультанта Саблиной О.Г.,

аналитика Устюжаниной Л.Н.,

системного администратора Черняка М.В.

составила настоящий акт о том что, результаты диссертационной работы аспиранта кафедры инноватики и интегрированных систем качества федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» Нурушева Е.Т. на тему: «Модели и методики повышения результативности процессов диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.22 – Организация производства (радиоэлектроника и приборостроение),

– модифицированная методика повышения точности оценки рисков диагностики РЭА на основе применения метода Граббса и геометрической оценки,

– методика оценки состояния авиационной и радиоэлектронной аппаратуры методом нечеткой логики,

были использованы при обосновании технического проекта по проектированию перспективной автоматической системы управления предприятием ООО «РБС:Консалтинг».

Также была определена результативность разработанных
– математической модели прогнозирования перспективной
производственной нагрузки;

– математической модели сокращения длительности процесса ремонта
РЭА методом уменьшения временных потерь;

на предприятии ООО «РБС:Консалтинг», применение которых при организации
производства электронных модулей обеспечило снижение до 9,3 % излишних
запасов комплектующих изделий, что позволило сократить до 4,1 % времени
привлечения производственного персонала на их обслуживание.

Председатель комиссии:

генеральный директор

О.В. Синецын

Члены комиссии:

главный методист-
консультант

О.Г. Саблина

аналитик

Л.Н. Устюжанина

системный администратор

М.В. Черняк