

**На правах рукописи**



**НУРУШЕВ Ермек Тургалиевич**

**МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ  
РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ДИАГНОСТИКИ И  
РЕМОНТА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

Специальность 05.02.22 – Организация производства (радиоэлектроника и приборостроение)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

г. Санкт-Петербург-2021

Работа выполнена на кафедре инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Научный руководитель

**Коршунов Геннадий Иванович**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры инноватики и  
интегрированных систем качества ФГАОУ  
ВО «Санкт-Петербургский государственный  
университет аэрокосмического приборостроения»

Официальные оппоненты

**Юрков Николай Кондратьевич**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Конструирование и  
производство радиоаппаратуры» ФГБОУ ВО  
«Пензенский государственный университет»  
Заслуженный деятель науки РФ

**Гродзенский Яков Сергеевич,**

доцент, кандидат технических наук, доцент  
кафедры метрологии и стандартизации ФГБОУ  
ВО «МИРЭА - Российский технологический  
университет»

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Балтийский государственный  
технический университет «ВОЕНМЕХ» им.  
Д.Ф. Устинова», 190005, г. Санкт-Петербург,  
ул. 1-я Красноармейская, д. 1

Защита состоится «02» июня 2021 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.233.04 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская д.67, лит. А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, л.А. Автореферат и текст диссертации размещены на сайте университета <http://dissov.guap.ru>.

Автореферат разослан «09» апреля 2021 г.  
Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.233.04  
доктор технических наук, доцент



Е. А. Фролова

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

Поддержание и обеспечение исправности и работоспособности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) воздушных судов (ВС), обоснована соблюдением стандартов Приложения 8 (Летная годность) к Конвенции о международной Гражданской авиации. В условиях эксплуатации состояние РЭА оценивается техническим персоналом посредством бортовых и переносимых контрольно-тестовых устройств. Более точная диагностика и капитальный ремонт РЭА, доступны в условиях технических центров и авиаремонтных заводов (АРЗ).

Конкуренция на рынке услуг, требует от АРЗ обеспечения результативности организации производства. В отношении процессов диагностики и ремонта РЭА в условиях АРЗ, следует учесть такие показатели как, время производственного цикла ремонта и точность диагностики. Сокращение времени ремонта, приводит к сбережению материальных и энергетических ресурсов, эффективному использованию производственных мощностей при соблюдении требований параметров качества продукции. Совершенствование методов диагностики совместно с прогнозированием состояния РЭА, повышает степень обеспечения безопасности полетов ВС, качество навигации и связи на воздушных судах.

В конкурентных условиях, производственные процессы АРЗ подвержены сдерживающим факторам, снижающих производственные показатели. Следование требованиям стандартов ISO, ГОСТ Р ИСО 9000-2015 обеспечивает качество услуг, при этом существует необходимость в снижении степени влияния рисков на процессы диагностики и ремонта РЭА. Идентификация и оценка рисков, основана на ISO 31010-2019 методом FMEA и ГОСТ 51814.2-2001. Традиционные методы оценки рисков подвержены влиянию особенностей человеческого фактора. Наличие расхождений в экспертных оценках нацеливает на модификацию методов, обеспечивающих более точную оценку рисков и управление ими.

Актуальность темы диссертационного исследования подтверждается законодательными актами Российской Федерации, где необходимость повышения результативности производства с сокращением затрат, 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 Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».

### **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 ученых Ю.А. Антохиной, А.Г. Варжапетяна, Е.Г. Семеновой, Г.И. Коршунова, А.А. Оводенко, В.А. Липатникова, В.В. Окрепилова, Ю.П. Адлера, Н.К. Юркова, Ю.Л. Вяшенко 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;

- для вопросов мониторинга производственно-технических процессов и воздушных судов рассматривались в трудах зарубежных исследователей Willam H. Woodal, K.K. Nicolic и отечественных ученых А.П.Науменко, Н.А. Махутова и др.;

- к вопросам применения нечеткой логики и оценке состояния технических устройств и авиационных систем рассматривались в трудах Л. Заде, А. Пегата, Е.Н. Мамдани, Ж.А. Даева, Josefina Janier, Reayd Abdel-Fadil и отечественных ученых В. Чернова, А.С. Коновалова, П.Е Шумилова и других;

-в вопросах методологии экспертной оценки У. Инмон, Л. Фридман, М. Basili, L.Pratelli, ColinB. Brown, Tobias Krueger и других.

Известные результаты исследований в недостаточной степени обеспечивают решение данных задач при организации процессов диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры легких воздушных судов, что подтверждает актуальность выбранной темы исследования.

**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.

**Теоретической и методологической базой исследования** послужили научные труды отечественных и зарубежных ученых в области теории организации производства, моделирования процессов и управления системами, а также мониторинга основных и вспомогательных процессов. Методологическую основу составляют методы математического анализа, теории вероятности и статистики, математического моделирования и нечеткой логики.

**Тематика работы** соответствует областям исследования пп. 3, 9, 11 паспорта специальности 05.02.22 – «Организация производства».

**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, отличающаяся от известных, применением принципа оптимальности на основе теории ограничения.
2. Методика повышения точности оценки рисков диагностики РЭА, отличающаяся от известных применением метода Граббса и геометрической оценки.
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.

**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.

Общая результативность, к поставленной задаче, составила 58,75%. Разработанные методики и модели позволили улучшить производственные показатели предприятий

**Апробация работы:** основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 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 работ, из них 3 без соавторов, 11 статей опубликовано в ведущих рецензируемых научных изданиях, 2 – в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, 4 работы в других изданиях.

**Внедрение результатов диссертационного исследования:** повышение результативности процессов диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры на основе разработки моделей и методик подтверждено актами об использовании, полученными автором от ООО «ПАНТЕС групп», ООО «РБС: Консалтинг» и ООО «Геонавигатор».

**Структура диссертационной работы:** диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных литературных источников из 153 наименований. Основной текст диссертации изложен на 178 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка и 35 таблиц.

## II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы. Сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования. Отражена научная новизна и практическая значимость, приведены основные результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен краткий обзор текущего состояния безопасности полетов и анализ инструментов повышения результативности производственных процессов на авиаремонтном предприятии. Осуществлен анализ причин отказов радиоэлектронной аппаратуры в условиях эксплуатации. Выполнена оценка состояния производственной деятельности авиаремонтного завода как объекта исследования и анализ факторов влияющих на результативность процессов

диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры легких воздушных судов. Руководствуясь теорией ограничения Голдрата, рассмотрены как внешние, так и внутренние факторы влияния на результативность процессов диагностики и ремонта. Изучена окружающая организационная среда деятельности АРЗ, последовательность и размерность этапов производственного процесса и степень участия человека в эргатической системе.

**Во второй главе** разработана модифицированная методика повышения точности оценки рисков диагностики РЭА с целью повышения точности оценки существующих рисков в деятельности АРЗ. Рассмотрена техническая система с участием человека, как слабого звена. С целью уменьшения существующих рисков и снижения влияния человеческого фактора на точность оценки, предложена модификация инструмента оценки риска на основе метода FMEA и контрольных карт Шухарта.

В оценке участвуют несколько групп экспертов, где каждый эксперт проводит оценку независимо друг от друга. С целью визуализации решений экспертов был использован метод контрольных карт.

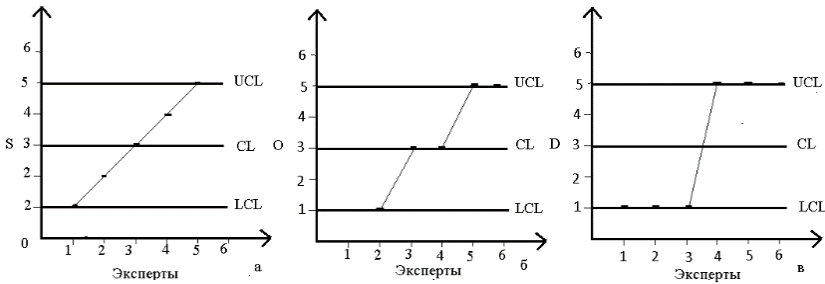


Рисунок 1 – Мнения экспертов имеют разнонаправленное решение

Рассмотрены три группы вариантов мнений, в первом – отражены не согласующиеся (рис.1.) во втором варианте – оценки в большинстве совпадают, в третьем случае события имеют половинчатый характер с элементами «выброса» решения эксперта. Последний вариант (рис.2), где мнение эксперта отличное относительно общего, следует подвергнуть дополнительному рассмотрению.

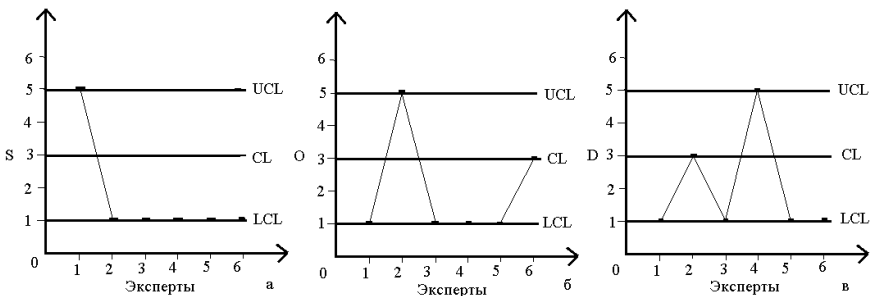


Рисунок 2 – Решения имеют отличающиеся мнения

С целью повышения точности оценок риска и исследования аномальных (выбросы) данных решений экспертов применены критерии Граббса, что позволит исключить такие результаты, как на рис.2. Разложим выборку мнений экспертов с одним выбросом в ряд -  $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}$ , и соответственно, вариационный ряд путем ранжирования результатов,  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .

Принадлежность выброса крайней наибольшей величины результатов, другому закону распределения, определяется по статистике Граббса [6]:

$$G_{\max} = \frac{X_n - \bar{X}}{s}, \quad (1)$$

для математического ожидания результатов согласно:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2)$$

и среднее квадратического отклонения:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}. \quad (3)$$

На выброс наименьшей величины результатов, применили другую статистику Граббса:

$$G_{\min} = \frac{\bar{X} - X_1}{s}. \quad (4)$$

Согласно (1) – (4) определяются статистические показатели и статистики Граббса, где максимальный или минимальный элемент выборки считается выбросом, если значение соответствующей статистики превысит критическое значение:

$$\begin{cases} G_{\max} \geq G_{n,1-\alpha} \\ G_{\min} \geq G_{1,1-\alpha} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $\alpha$  - уровень значимости, был принят равным 5%. В случае нарушения неравенств (5) крайние значения результатов оценок считаются как выброс и исключаются. Далее следует определить причину выставления этих баллов у экспертов.

Критические значения статистик выбираются исходя из закона распределения случайной величины. В случае подозрения на два выброса можно оценить совокупность результатов и применить двухвыбросную статистику Граббса. Исключив из выборки выбросы, результат принимается как среднее значение баллов, которые получены в ходе экспертизы. Усредненное значение баллов считается наиболее достоверным.

В примере командой из восьми экспертов выполнена независимая оценка состояния элемента системы ВС, путем выставления баллов для каждого потенциального отказа по показателям значимости S, вероятности появления отказа O, возможности обнаружения D. В результате независимой экспертизы оценки распределились как представлено в таблице 1.



Полученные баллы были ранжированы и статистически обработаны для обнаружения выбросов по Граббсу, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты независимой экспертизы

Эксперт	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
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

Таблица 2 – Результаты обработки данных

Показатель	$\bar{X}$	S	G <sub>max</sub>	G <sub>min</sub>
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

В этом случае критические значения для статистик будут равными:  $G_{8/0,95}=2,032$  и  $G_{1/0,95}=1,653$ . При сравнении значений полученных рядов с критическими, видно, что баллы эксперта X<sub>7</sub> являются выбросами, в связи с невыполнением условия статистик Граббса из таблицы 2 по условию (5). Модификация метода FMEA позволяет исключить из общего числа экспертных решений «выброс» решения эксперта, имеющий оценку, выходящую за пределы критерия, определяемого уравнением (5).

Таблица 3 – Оценки экспертов и характеризующие линии

Эксперты	1	2	3	4	5	6	7
Оценки	1	6	5	7	2	9	6
Средняя	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139	5,139
LCL (-0,57)	4,569	4,569	4,569	4,569	4,569	4,569	4,569
UCL (+0,78)	5,919	5,919	5,919	5,919	5,919	5,919	5,919
New CL (-0,1695)	4,9695	4,9695	4,9695	4,9695	4,9695	4,9695	4,9695

При невозможности исключения оценки эксперта, предлагается методика оценки на основе разницы величин выбросов, представленных в виде усеченных площадей. Исходя из различных комбинаций оценок, графики будут иметь различное отображение относительно средней линии LC. При общности суждений экспертов, может присутствовать значение отличное от результирующей. В этом случае общая площадь F, ограниченная сверху и снизу кривыми графика оценок, и высота площади «прямоугольника оценок» который условно располагается вдоль средней линии  $2h = (UCL - LCL)$  может изменяться в зависимости от совокупности оценок. С целью снижения влияния максимальных отклонений на результирующую оценку, применим методику оценки решений по отношению к максимально и минимально выставленным баллам, принимая их как ошибочные. По результатам выводов 7 экспертов выставлены оценки, указанные в (табл.3), что представлено на графике рис. 3.

Используя уравнения вычисления площади по известным координатам, для треугольника:

$$F = \frac{1}{2} [(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_3)], \quad (6)$$

для многоугольника:

$$F = \frac{1}{2} \left[ \left| \begin{matrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{matrix} \right| + \left| \begin{matrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{matrix} \right| + \dots + \left| \begin{matrix} x_n & y_n \\ x_1 & y_1 \end{matrix} \right| \right], \quad (7)$$

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  $h_l$ .

В итоге верхняя граница площади располагается выше средней линии на 0,78 балла, а нижняя на 0,57 балла ниже средней. Для определения значения, воспользуемся уравнениями:

$UCL = CL + 0,78$ ,  $LCL = CL - 0,58$ . Значения отображены в табл. 3.

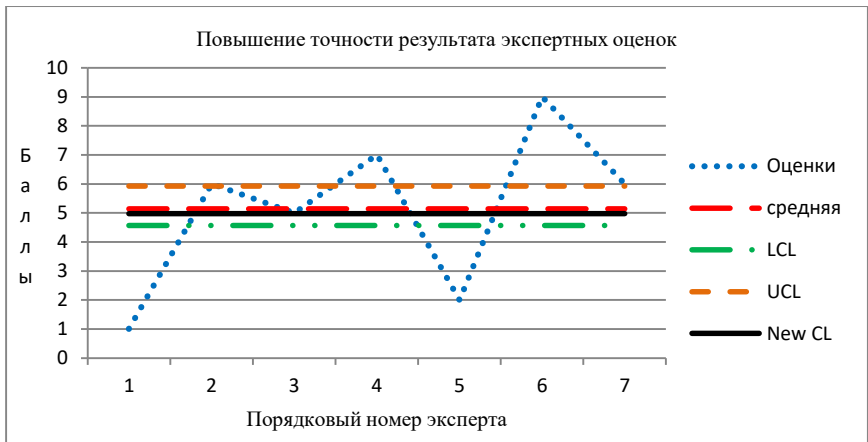


Рисунок 3 – Расположение верхнего и нижнего края площадей  $F_U$  и  $F_L$

Исходя из рис.3, отклонения верхней и нижней границ занятых площадей имеют различные значения и прямо пропорциональны знаку и величине максимального и минимального баллов, выставленных экспертами. Определим отношение максимальной положительной оценки  $l_{max}$  к UCL используя уравнение,

$$k_U = \frac{UCL - CL}{l_{max} - CL} \quad (8)$$

Получим значение  $k_U = 0,202$

Таким же методом получено значение  $k_L = 0,137$

Вычислим результирующий осредненный коэффициент отклонения от средней линии,

$$k_{CL} = (k_U + k_L)/2 = 0,1695 \quad (9)$$

Если принять это значение как поправку расположения средней линии оценок экспертов, то новое расположение линии CL расположится ниже существующей на величину CL – 0,1695. Применение данной методики для оценки трех показателей риска: степень тяжести, вероятность наступления и степень обнаружения, влияет на изменение величины приоритетного числа риска (ПЧР). Сравнение результатов для определения влияния на ПЧР, представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты влияния уточненной оценки на ПЧР

	CL <sub>1</sub> =S	CL <sub>2</sub> =O	CL <sub>3</sub> =D	ПЧР
Начальное значение CL	5,14	3,82	8,25	162
Новое значение CL <sub>new</sub>	4,96	3,53	7,99	140
Результативность повышения точности оценки риска диагностики РА				12,5 %

Так, согласно таблице 4, при незначительных изменениях значений CL получим выходные значения, ПЧР1  $\approx$  162 и ПЧР2  $\approx$  140 . В итоге, незначительные изменения средней величины оценки группы экспертов приводят к значительному изменению величины ПЧР, что отражает результативность данной методики повышения точности оценки риска диагностики РЭА на 12,5% при целевом показателе ПЧР 125.

**В третьей главе** 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. Согласно циклограмме, фактическое время ремонта самолета Ан-2 составляет 256 часов рабочего времени, при этом целевым показателем рассматривается 180 часов, отражающее наибольшую эффективность предприятия при максимальной загрузке.

Время полного цикла ремонта представляет собой последовательность этапов ремонта, отражающее затраченный период времени:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \dots t_{imax}, \quad (10)$$

где  $T$  – время полного цикла ремонта ВС;

$t_{imax}$  – время затраченное на каждый этап.

Для поиска мест, имеющих потенциал для сокращения времени, использован метод теории ограничений Голдрата. Так, основным показателем оптимизации выступает  $t_{imax}$ , формирующий общий временной показатель процесса  $T$ ,

$$T = (t_{1\ max} + t_{2\ max} \dots + t_{k\ max}), 0 < k, \quad (11)$$

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

$k$  – количество шагов.

Исходя из «принципа оптимальности», при любом первоначальном состоянии и принятом решении, последующие решения должны составлять оптимальное поведение относительно состояния, полученного в результате первого решения. Инструменты и методы сокращения времени представляют собой векторы воздействия  $f_i$ . При определении всех состояний процесса и состояний перехода от  $C_1$  до  $C_{10}$ , где при первом воздействии управляющего вектора  $f_1$ , процесс переходит из состояния  $C_0$  в состояние  $C_1$  и будет иметь вид,

$$C_i = C_i(C_{i-1}, f_i), 0 \leq f_i \leq F, f_i \in F, \quad (12)$$

где результирующая функция будет представлять собой  $g_i(C_{i-1}, f_i)$ .

По такому же алгоритму будут выполняться остальные операции до завершающей стадии, где результирующей функцией на десятом этапе является  $g_{10}(C_9, f_{10})$ , представленная выражением,

$$C_{10} = C_{10}(C_9, f_{10}), 0 \leq f_{10} \leq F, f_{10} \in F, \quad (13)$$

Для определения оптимального управления для всех операций на каждом этапе, начиная от последнего на основании алгоритма обратной прогонки будет применена последовательность функций  $\{G_k(y)\}$ ,  $k = 1, N$ . Каждая функция включает в себе задачу минимального времени выполнения  $k$  операций при оптимальных управляющих воздействиях  $f$ ,  $0 \leq f \leq F$ :

$$G_k(q) = \max_{1 \leq i \leq k} (t_i^0 - \Delta t_i(q_i)) \rightarrow \min \quad (14)$$

Сокращение времени производственного цикла рассматриваются на этапе подготовки, диагностирования и ремонта. В этом случае функциональное уравнение для конкретных  $k$  операций, предстанет в виде:

$$G_k(C_k) = \min_{1 \leq q_k \leq k} [\max(t_i^0 - \Delta t_i(q_i), G_{k+1}(C_k))]. \quad (15)$$

Сокращения времени операций на этапе контроля (проверок, тестов, испытаний) недопустимо и остается без изменений  $t_3, t_8 = const$ .

Инструментами сокращения времени являются:

- прогнозирование перспективной загрузки, позволяющее планировать необходимое количество комплектующих и исключение простоя оборудования;
- предварительная оценка состояния РЭА до поступления в ремонт и раннее планирование траектории ремонта;
- применение средств автоматизации, механизации операций, в целом позволяя сократить время на 1-5,7,9,11,13,19,21 и 24 этапах.

Разработана методика оценки состояния авиационной и радиоэлектронной аппаратуры методом нечеткой логики. Так, при расположении контролируемых параметров (табл. 5) в рабочей зоне, система характеризует состояние как номинальное - Н, если параметры выше номинальных и близки к границе критической области, система характеризует, как состояние, требующее контроля

динамики изменений – К, при превышении критических значений, нечеткий классификатор оценки состояния выдает сигнал о пересечении критической точки – О.

Таблица 5 – 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 сек	0-30; 30-40; 40-50
Температура обмотки якоря	+50 ÷ +60 С <sup>0</sup>	Свыше +60С <sup>0</sup>	0-40; 40-50; 50-60
Яркость свечения искры	550-650 кд	Более 650кд	450-550;550-650; 650-750

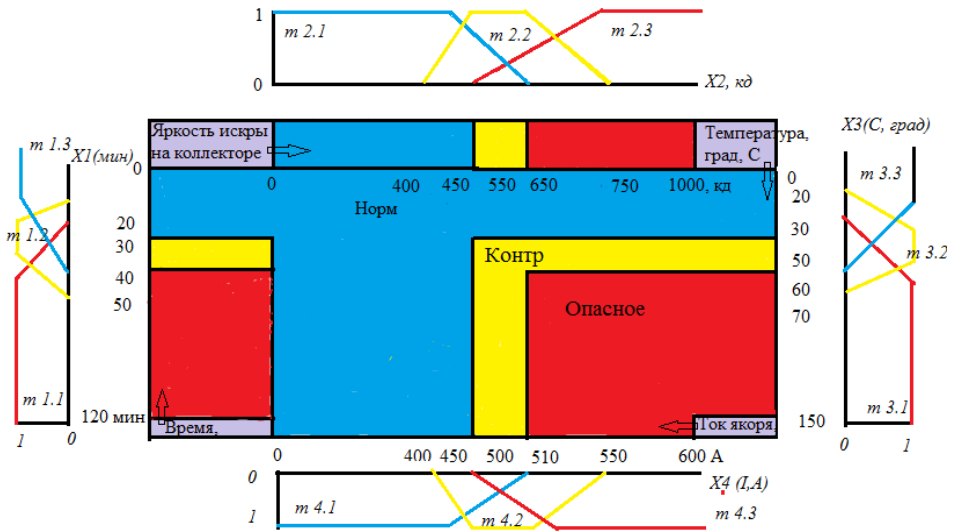


Рисунок 4 – Отражение зависимостей параметров контроля в функции принадлежности

Из всего множества параметров состояния, в работе представлены четыре, в виде лингвистических переменных, для отражения в системе нечеткой логики:

$t_{ст}$  – время работы в стартерном режиме  $\rightarrow x_1$ ;

$I_u$  – яркость свечения искры на ламелях коллектора  $\rightarrow x_2$ ;

$t_{колл}$  – температура коллектора  $\rightarrow x_3$ ;

$I_я$  – ток якоря  $\rightarrow x_4$ .

Характер графика поведения каждой термы лингвистической переменной (рис.4), представлен в виде функции принадлежности -  $\mu$ . Каждая лингвистическая переменная, имеет функции, отражающие принадлежность к состоянию. Так, функции принадлежности тока якоря представлены матрицами (16),

$$\mu_{2.1}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 450 \\ (x - 450)/(450 - 0), & 450 \leq x \leq 470 \\ 1, & 470 \leq x \leq 470 \\ (470 - x)/(470 - 450), & 470 \leq x \leq 470 \\ 450, & 470 < x \end{cases}$$

$$\mu_{2.2}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 450 \\ (510+x)/(510-470), & 450 \leq x \leq 470 \\ 1, & 470 \leq x \leq 510 \\ (550 - x)/(550 - 510), & 510 \leq x \leq 550 \\ 0, & 550 \leq x \leq \infty \end{cases}, \quad (16)$$

$$\mu_{2.3}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 510 \\ (550 - x)/(550 - 510), & 510 \leq x \leq 550 \\ 0, & 550 < x \end{cases}$$

Подобные матрицы строятся и по остальным лингвистическим переменным, характеризующим критический параметр, описывая условия перехода состояния объекта контроля. Применение нечеткой логики при автоматическом контроле, на основе зонального определения текущего состояния, повышает точность определения момента вероятного наступления отказа, что очень важно при малых разбросах крайних значений.

При разработке нечеткой системы оценки состояния бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) были приняты данные из (табл.6) и несколько входных лингвистических переменных, таких как «Температура нагрева» на рис 5.

Таблица 6 – Данные по наработке на отказ БРЭО самолета АН-2

№ п.п.	БРЭО/ определяемые параметры	Наработка на отказ, ч	Дублирующее АОВС / определяемые параметры	Наработка на отказ, ч
1	Авиационный радиоконпас 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/ст Р-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

Был разработан пошаговый алгоритм оценки состояния (рис.6).

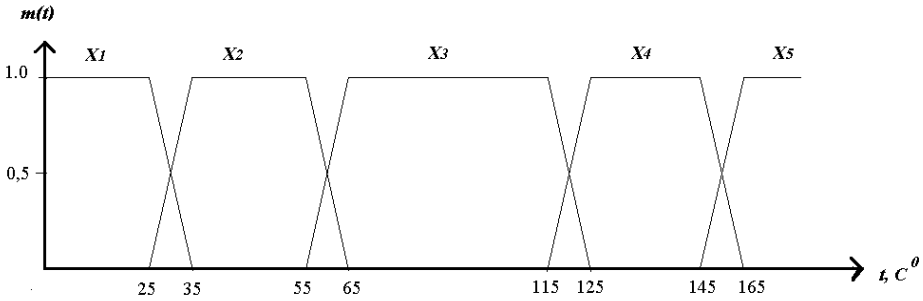


Рисунок 5 – Лингвистическая переменная «Температура нагрева»

Результирующее значение текущего состояния элемента БРЭО отражается лингвистической переменной, в виде термы данной переменной представленной как

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

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

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

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

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:

$$\sum P(W_1, W_2, W_3, W_4) = \sum P(W_1, W_2) + \sum P(W_3, W_4) = 1 \quad (17)$$

С целью получения формулы нечеткой оценки безотказности БРЭО, преобразуем формулу (17) к виду (18)

$$1 - \sum P(W_3, W_4) = \sum P(W_1, W_2) \quad (18)$$

Если в первом случае оценки состояния визуально отражены границам состояния (17), то второй позволяет условия уравнения внести в математический аппарат для вычислений.

**Четвертая глава** решает задачу объединения ранее полученных моделей и методик в цельную систему для достижения результативности процессов диагностики и ремонта РЭА. На первом этапе, была разработана математическая модель прогнозирования перспективной производственной нагрузки авиаремонтного завода. С целью прогнозирования нагрузки АРЗ на 2017-2018 годы по имеющимся данным (табл.7) была разработана математическая модель на основе экспоненциального сглаживания [9], где каждый объект представляет собой временной ряд и обозначен соответствующей переменной  $X_i$ .

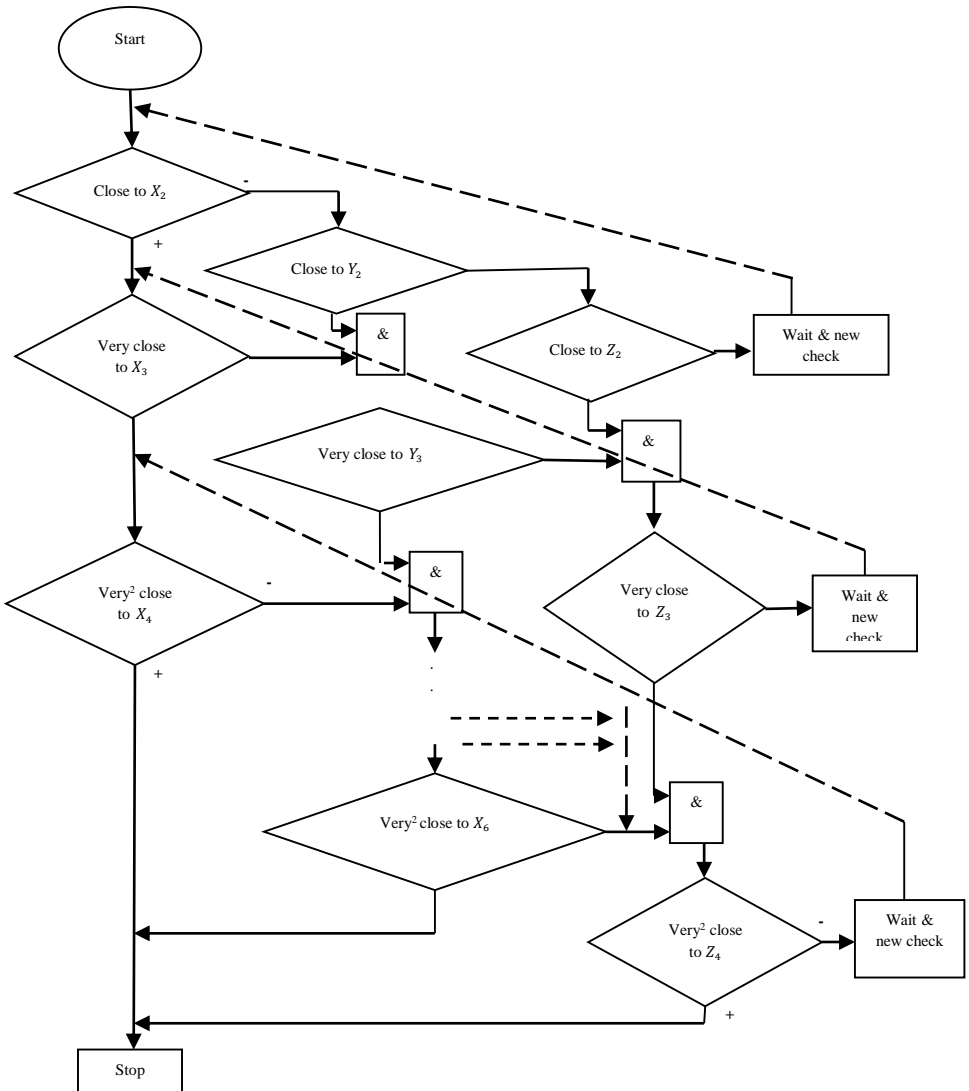


Рисунок 6 – Алгоритм решения задачи контроля состояния БРЭО

Решение основывалось на прогнозировании временного ряда, представленного в виде:

$$y_t = x_t + S + C + \varepsilon_t, \quad (19)$$



где  $x_t$  – детерминированная неслучайная компонента процесса (тренд),

Таблица 7 – Номенклатура объектов отремонтированных на АРЗ

№ п/п	Годы	Самолет 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

$S$  – сезонная составляющая процесса,

$C$  – циклическая составляющая процесса,

$\varepsilon_t$  – стохастическая компонента процесса.

Задачей прогноза является определение функций детерминированной неслучайной компоненты, сезонной и циклической компонент и стохастическую компоненту на основе эмпирических данных.

Для решения задачи применяются следующие модели:

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

Для экспоненциальной средней  $k$ -порядка для временного ряда использовано уравнение:

$$S_t^{[k]}(y) = \alpha \sum_{i=1}^n (1-\alpha)^i S_{t-1}^{[k]}(y), \quad (20)$$

где  $\alpha$  – параметр сглаживания.

Для выбора оптимальной модели прогнозирования для каждого временного ряда применялось уравнение средней квадрата ошибки (Meansquares):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} e_i^2, \quad (21)$$

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

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

Для определения суммы квадратов ошибок (Sums of squares) применена:

$$SSE = \sum_{i=1}^{n-1} e_i^2. \quad (22)$$

В таблице 8 значения расчетных показателей MSE и SSE, резюмируют, что для прогноза первого и третьего временных рядов оптимальной является модель без тренда, для второго - модель с экспоненциальным трендом, для четвертого – модель с затухающим трендом, для пятого ряда – модель с линейным трендом.

Таблица 8 – Характеристики оценки оптимальности модели

Объект ремонта Обозначение временного ряда	Показатели оценки оптималь- ности модели	Виды моделей			
		Без тренда	Линейный тренд	Экспоненциал ьный тренд	Затухаю- щий 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
Двиг. ГТД-350, $X_4$	MSE	171,8	148,06	172,19	110,58
	SSE	1202,6	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

Дополнительно были получены значения сглаженного ряда  $S(X_i)$  и остатки  $e_{ki}$  (каждого вида АТ), которые являются прогнозными моделями. Так численные значения для Ан-2, Ми-2 и Аш-62ИР представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Численные значения сглаженного ряда, прогноза и остатков

Годы	Самолеты Ан-2			Вертолеты Ми-2			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	

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

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{|e_i|}{X_{ki}} 100\%. \quad (23)$$

Таблица 10 – Оценка точности прогноза

Величина среднеабсолютной процентной ошибки, MAPE	Оценка точности прогноза
0% – 10%	Высокая
10,1% – 20%	Хорошая
20,1% – 50%	Удовлетворительная
50,1% и выше	Неудовлетворительная

Для оценки точности прогноза по показателю MAPE воспользуемся шкалой, приведенной в таблице 10. Значения MAPE и соответствующих параметров моделей для рассматриваемых временных рядов, представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристики оценки точности и значения параметров

	Временной ряд				
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
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%, прогноз по вертолетам Ми-2 является удовлетворительным. По результатам решения задачи прогнозируемое количество авиатехники и агрегатов отражено в таблице 12.

Таблица 12 – Прогнозируемое количество АТ

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
По факту 2018	14	2	29	40	2

По мере накопления данных во временном ряду, модель будет повышать точность вычислений автоматически. Данная модель позволяет прогнозировать выходные данные по каждому временному ряду, с определением индивидуальной модели каждого ряда и оценкой их точности.

Решена задача по оценке состояния РЭА на основе организации удаленного мониторинга. Предложена структура, системы удаленной технической диагностики состояния РЭА легких ВС. Система предполагает сбор данных параметров бортового авиационного и радиоэлектронного оборудования, автоматизированную обработку информации, обеспечивая поддержку принятия решения эксплуатантом по планированию производственного процесса. Основными источниками данных, являются штатные датчики ВС, а также дополнительные измерительные средства,

сопрягаемые с аналого-цифровым контроллером. Элементы системы интегрируются в мобильное оборудование.

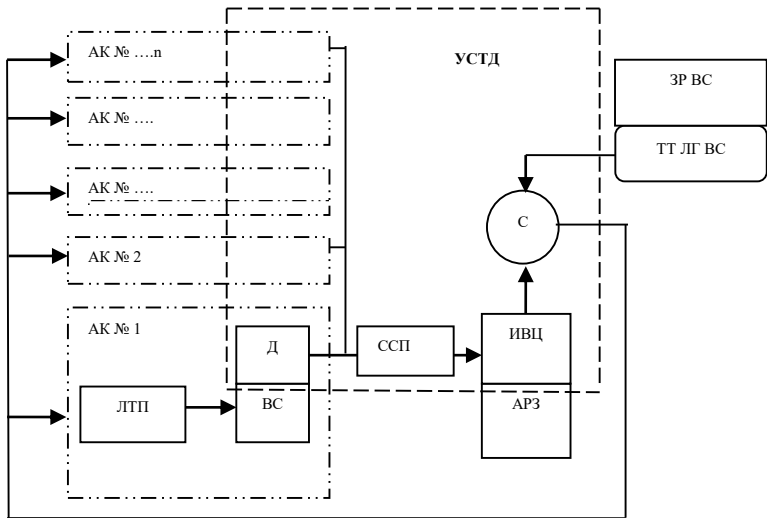


Рисунок 7 – Структура интеграции СУД

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, Д –датчики ВС, С- сумматор

Интегрированная системы представлена (рис.7) и должна включать систему связи и передачи данных (ССПД) между ВС (авиакомпанией) и АРЗ через Интернет либо других средств с помощью известных протоколов. Данная система, допускает интеграцию в любую систему высшего уровня для организации управления производством. Объединяя данную структуру с представленными методиками и моделями, формируется комплексная система мониторинга и контроля состояния, с элементами прогнозирования и инструментом поддержки принятия решения.

Результативность мероприятий оценена по методу Сугено, где лингвистические переменные характеризуют численные результаты полученных улучшений по разработанным методикам и моделям. Для определения степени результативности разработанных решений использованы показатели таблицы 13.

Таблица 13 – Оценка результативности разработанных решений

Степень достижения результата	Бесполезны	Мало результативно	Близко к результативности	Результативно
Количественное отражение %	Менее 25%	25,1 - 50%	50,1 – 70,0	70,1 - 100%

Принимая разработанные решения как набор показателей со степенью достижения, общим результатом выступит усредненное значение согласно уравнению (24),

где  $P(Pr1_{(ПТОРД)})$  – результативность повышения точности оценки риска диагностики,

$P(Pr2_{(СВР)})$  – сокращения времени,

Таблица 14 – Достигнутые значения по принятым инструментам улучшения

	$P(Pr1_{(ПТОРД)})$	$P(Pr2_{(СВР)})$	$P(Pr3_{(ПППН)})$	$P(Pr4_{(ОСРА)})$
План (прогноз)	125	20	75	4
Начальное/ достигнутое значение	162/140	32/28	78/87	4/4
Результативность	<b>12,5%</b>	<b>13,5%</b>	109,%0	100

$P(Pr3_{(ПППН)})$  – прогнозирования перспективной производственной нагрузки и  $P(Pr4_{(ОСРА)})$  - оценки состояния радиоэлектронной аппаратуры.

Оценка примененных методов для повышения результативности процессов диагностики и ремонта РА выполнена согласно:

$$P(Pr_{(Дур)}) = P(Pr1_{(ПТОРД)}) + P(Pr2_{(СВР)}) + P(Pr1_{(ПППН)}) + P(Pr1_{(ОСРА)})/4 \quad (24)$$

$$P(Pr_{(Дур)}) \approx 58,75\%$$

По итогам предложенных решений и полученных результатов при отражении в процентном отношении, итоговая результативность предложенных моделей и методик суммарно достигает 58,75 % в деятельности АРЗ. Категорирование работы по степени достижения цели исследования на основе лингвистических переменных (таблица 13), позволяет оценить, как достигнуто.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты диссертационного исследования обеспечивают повышение результативности процесса процессов диагностики и ремонта радиоэлектронной аппаратуры на основе разработанных моделей и методик. Изложены новые научно-обоснованы 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 известных применением метода 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 систем удаленного доступа и передачи данных.

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. Разработанные методики и модели позволили улучшить производственные показатели предприятий.

Таким образом, задачу поставленную перед диссертационным исследованием можно считать достигнутой. Внедрение основных научных положений, сформулированных в диссертационной работе, подтверждено актами, полученными автором от ООО «ПАНТЕС групп», ООО «РБС: Консалтинг», ООО «Геонавигатор».

## **VI. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

### **Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях**

1. Нурушев, Е.Т. Система оценки состояния авиационного оборудования на основе нечеткой логики / Е.Т. Нурушев// Технология машиностроения. – 2021. №1(223). – С. 68-74.

2. Нурушев, Е.Т. Нечеткая система контроля состояния бортового радиоэлектронного оборудования / Г.И. Коршунов, Е.Т. Нурушев, С.Л. Поляков, В.О. Смирнова // Наука и бизнес. Пути развития. – 2020. №6 (108). – С. 49-57.

3. Нурушев, Е.Т. Проблемы и решение задач авиаремонтного завода в условиях неопределенности состояния объектов ремонта / Е.Т. Нурушев Р.М. Хисматуллин, Ж.А. Даев // Автоматизация. Современные технологии. – 2018. №1(72). – С. 7-10.

4. Нурушев, Е.Т. Применение статистических критериев для улучшения эффективности методов оценки рисков / Ж.А. Даев, Е.Т. Нурушев // Надежность. – 2018. №2(18). – С. 42-45.

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

6. Нурушев, Е.Т. Вопросы построения автоматизированных систем управления авиаремонтным предприятием / Е.Т. Нурушев, Ж.А. Даев, А.К. Кайракбаев // Ремонт, Восстановление, Модернизация. – 2018. № 5. – С. 3-7.

7. Нурушев, Е.Т. Совершенствование процессов ремонта авиационного и радиоэлектронного оборудования воздушных судов / Г.И. Коршунов, Е.Т. Нурушев, С.Л. Поляков // Вопросы радиоэлектроники. 2017. №10. С. 6-9.

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

9. Нурушев, Е.Т. Оценка стоимости затрат на поддержание летной годности воздушных судов на основе риск-ориентированного подхода / Ж.А. Даев, Е.Т. Нурушев // Контроль. Диагностика. – 2017. № 11. – С. 60-63.

10. Нурушев, Е.Т. Совершенствование метода анализа видов и последствий отказов для авиационных предприятий / Ж.А. Даев, Е.Т. Нурушев // Машиностроение и инженерное образование. – 2017. № 2. – С. 68-72.

11. Нурушев, Е.Т. Организация процессов ремонта воздушных судов на основе модели состояний / Г.И. Коршунов, Е.Т. Нурушев // Вопросы радиоэлектроники. –2016. №6. – С. 19-22.

### **Статьи в рецензируемых журналах, входящих в системы цитирования WoS и Scopus**

12. G I Korshunov, S L Polyakov, E T Nurushev and V O Smirnova. The refined method of risk assessment of the technical condition determination of the aviation equipment critical elements // Journal of Physics: Conference series, 1399 (2019) 055075 doi:10.1088/1742-6596/1399/5/055075.

13. G I Korshunov, E T Nurushev, S L Polyakov and G V Getmanova. The remote technical equipment monitoring system for light aircraft // Journal of Physics: Conference series, 1555 (2020) 022057 doi:10.1088/1742-6596/1515/2/022057.

### **Статьи и материалы конференций**

14. Нурушев Е.Т. Влияние вероятности обнаружения отказов и неисправностей на качество ремонта воздушных судов / Г.И. Коршунов, Е.Т. Нурушев // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сб. докл. / СПб.:ГУАП, 2016. – С. 101-104

15. Нурушев Е.Т. Критерии безопасности состояния воздушных судов в условиях неопределенности состояния/ Е.Т. Нурушев // Мехатроника, автоматика и робототехника Материалы международной научно-практической конференции-Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – №1. – С. 80-84.

16. Нурушев Е.Т. Повышение точности оценки показателя предельного числа риска/ Ж.А. Даев, Е.Т. Нурушев // Технология машиностроения и машиноведение: Материалы международной научно-практической конференции. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – №1. – С. 137-142.

17. Нурушев Е.Т. Совершенствование экспертных систем для повышения эффективности ремонтных работ на авиационных предприятиях / Ж.А. Даев, Е.Т. Нурушев // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологий:

материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург, 2017. – С. 641-644.

Печатается в авторской редакции

---

Формат 60x84	1/16 Бумага офсетная	
Печать офсетная	Тираж 100 экз.	Заказ №

---

Редакционно-издательский центр ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская улица, д 67, лит А