

На правах рукописи



ФРОЛОВА Елена Александровна

**МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ИНТЕРАКТИВНЫХ
ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РУКОВОДСТВ
ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТУ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

Специальность:

05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Санкт-Петербург – 2019

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

Научный консультант: **Семенова Елена Георгиевна**
доктор технических наук, профессор,
Лауреат Премии Правительства Российской Федерации,
Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации

Официальные оппоненты: **Филиппов Павел Васильевич**
доктор технических наук, профессор, и.о. генерального
директора ФГУП «Крыловский государственный научный
центр»;

Гродзенский Сергей Яковлевич
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
«Метрология и стандартизация» ФГБОУ ВО «МИРЭА –
Российский технологический университет»;

Черненко Людмила Васильевна
доктор технических наук, старший научный сотрудник,
профессор Высшей школы киберфизических систем и
управления ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»

Ведущая организация: АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»,
197372, Санкт-Петербург, Новосельковская, 37, лит. А

Защита состоится «16» мая 2019 г. 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 Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67. Автореферат и текст диссертации размещены на сайте университета <http://dissov.guap.ru>.

Автореферат разослан «25» февраля 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.233.04
доктор технических наук, профессор



А.П. Ястребов

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Создание современных и перспективных интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) по эксплуатации и ремонту авиационной техники (АТ) характеризуется постоянным нарастанием объемов, охватываемых предметных данных, сложности используемых программных технологий представления и визуализации информации, моделирования предметных процессов жизненного цикла авиаприборов и бортовых систем. При этом не в должной мере учитывается непрерывное развитие и усовершенствование образцов авиационной техники. Сегодня стала очевидна тупиковость в развитии парка ИЭТР, обеспечивающих эксплуатацию и ремонт сложной современной авиационной техники только на основе опыта текущей эксплуатационной практики. Этот факт определяет недостаточный уровень качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники, а, в конечном итоге, недостижимость качественно нового уровня развития систем эксплуатации и ремонта указанного вида техники. Усложнение образцов авиационной техники, авионики, а также мультимедиа технологий моделирования предметных процессов, репрезентативных возможностей перспективных ИЭТР объективно диктует необходимость улучшения качества указанных средств интерактивной электронной эксплуатационной и ремонтной документации на методологически обоснованных принципах, на базе системного подхода и принципов рационализма.

Однако, не достаточная разработанность методологического и научно-методического инструментария управление качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники ведет к эмпирическому характеру их разработки и развития, предопределяемому текущей практикой проектирования, разработки и совершенствования средств авиационной техники. Это приводит к низкой эффективности процессов проектирования и разработки интерактивной электронной эксплуатационной и ремонтной документации, торможению качественного развития систем эксплуатации и ремонта современной и перспективной авиационной техники.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью разрешения объективного противоречия между существующей потребностью в методологическом и научно-методическом инструментарии управления качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники и недостаточным уровнем развития этого инструментария в настоящий момент.

Актуальность проведенного исследования подтверждается также его соответствием научным направлениям, определяемым Стратегией научно-технологического развития РФ и входящим в Перечень критических технологий Российской Федерации: Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, новым материалам и способам конструирования.

Степень разработанности темы исследования, направленного на развитие квалиметрического аппарата управления качеством интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники, определяют результаты научных работ ведущих отечественных и зарубежных ученых в области квалиметрии информационного и программного обеспечения автоматизированных производственных систем, методов сквозного интегрированного управления качеством транспортных услуг. Методологической основой для детальной разработки темы явились результаты исследований следующих научных направлений:

– интеграция и отработка эксплуатации комплексов авиационного бортового оборудования, авионики, обеспечение жизненного цикла летательных аппаратов, реализованные в работах отечественных научных школ Государственного научно-исследовательского института авиационных систем (ГосНИИАС), Военно-воздушной академии имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского и др. В частности, были взяты за основу научные результаты, разработанные в работах Федосова Е.А., Кухтенко В.И., Васильева В.А., Пенькова М.М., Кулешова Ю.В. и др.

– методология и практики управления качеством сложных технических и организационно-технических систем, реализованные в работах Э. Деминга, А.У.Шухарта, К.

Ишикавы, Д. Джурана, Г.Г. Азгальдова, Б.В.Бойцова, А.С.Васильева, А.Г. Варжапетяна, Е.Г. Семеновой, В.М. Балашова, Д. Коудена, Х.Й. Миттага, В.К. Федюкина, Н.Н. Рожкова, Г.И. Коршунова и др. На основе результатов исследований данного направления в работе определены базовые положения и подходы к разработке предлагаемых методов, как научных результатов;

– квалиметрические модели анализа и развития сложных программных и информационных систем, изложенные в результатах исследований А. Альбрехта Ф. Брукса, У. Хэмфри, Ф. Кратчена, М. Полка, М. Мюллера, Т. Фелманна, С. Кана, Б. Боэма, М. Джилба, Т. Саати, В.В. Липаева, Я.А. Ивакина, Н.В. Хованова, Р.М. Юсупова, В.А. Липатникова и др. Результаты данного направления позволили выработать единую метрику для процедур оценки качества и сформулировать систему сводных показателей для такой оценки;

– методы управления рисками (риск-менеджмента), предложенные в работах Т. ДеМарко, М.Круи, К.Кернса, Онищенко В.Я., Фунтова В.Н., Вершинина Н.Н. и др. На их основе предложены усовершенствованные схемы улучшения качества ИЭТР как в процессе их создания, так и при совершенствовании в рамках их жизненного цикла.

Цель работы. Цель диссертационной работы заключается в улучшении качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту АТ, за счет преодоления эмпирического характера процессов проектирования и разработки, путем последовательно-итеративного квалиметрического оценивания, анализа рисков развития и совершенствования.

В частности, автором предложен методологический инструментарий контроля и обеспечения качества электронного контента, вносимого в ИЭТР, а также учета его системного влияния на процессы технического обслуживания авиатехники.

Объект исследования – система интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) по эксплуатации и ремонту авиационной техники.

Предмет исследования – управление качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники.

Задачи исследования. Для достижения цели работы в ходе диссертационного исследования поставлены и решены следующие задачи:

1. Обоснование и синтез научно-методической концепции менеджмента качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту АТ;
2. Разработка метода логических схем предметного контента для обеспечения качества разрабатываемых ИЭТР;
3. Разработка метода многоуровневой оценки качества ИЭТР для АТ;
4. Обоснование и разработка метода выявления аномалий качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту АТ;
5. Уточнение критериальной базы и разработка методов оценки и уменьшения рисков проектов создания ИЭТР для эксплуатации и ремонта АТ;
6. Реализация системного подхода, путем выработки метода оценки динамики качества обслуживания АТ за счет использования ИЭТР.

Методы исследований. Для решения задач диссертационного исследования были использованы методы современной и классической квалиметрии, системного анализа, теории графов, риск-менеджмента, теории нечетких множеств и мягких вычислений, различные методы построения и взвешивания сводных показателей, процессный подход к рассмотрению эксплуатации АТ, а также квалиметрические методы анализа сложных программных комплексов и информационных систем.

Тематика работы соответствует областям исследования: 1. «Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики качества объектов»; 2. «Стандартизация, метрологическое обеспечение, управление качеством и сертификация»; 3. «Методы менеджмента качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла»; 4. «Квалиметрические методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством»; 5. «Методы стандартизации и управления качеством в CALS-технологиях и автоматизированных производственных системах»; 6. «Совершенствование связей взаимодействия системы поставщик-разработчик-изготовитель-

центр стандартизации и метрологии- орган по сертификации систем качества и производств при сквозном интегрированном управлении качеством с целью максимизации результативности»; 9. «Научные основы автоматизированных комплексных систем управления эффективностью производства и качеством работ»; 10. «Научные основы стандартизации» паспорта специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции».

Основные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Научно-методическая концепция менеджмента качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники;
2. Метод логических схем предметного контента для обеспечения качества разрабатываемых ИЭТР;
3. Метод многоуровневой оценки качества ИЭТР для авиационной техники;
4. Метод выявления аномалий качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники;
5. Метод оценки рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники;
6. Метод уменьшения рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники;
7. Метод оценки динамики качества обслуживания авиационной техники за счет использования ИЭТР.

Научной новизной обладают следующие результаты диссертационной работы:

1. Научно-методическая концепция менеджмента качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники в отличие от известных позволяет развить методологический аппарат разработки и совершенствования интерактивных электронных средств поддержки обслуживания АТ путем систематизации и рационализации способов, приемов, методов повышения его результативности за счет применения процессного подхода к рассмотрению жизненного цикла указанного вида техники.
2. Метод логических схем предметного контента для обеспечения качества разрабатываемых ИЭТР обеспечивает качественно новый уровень разработки предметного материала по эксплуатации, ремонту АТ для интерактивных электронных руководств за счет введенного дополнения научно-методического аппарата такой разработки инструментарием его обобщения и структуризации в виде логических схем последовательности проверок (работ).
3. Метод многоуровневой оценки качества ИЭТР для авиационной техники позволяет развить базовые методологические средства квалиметрического анализа электронных технических руководств, как программно-информационных продуктов, путем учета специфики и многофакторности их создания.
4. Метод выявления аномалий качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники впервые обеспечивает целенаправленное выявление несоответствий контента интерактивных электронных технических руководств, за счет выявления причин типовых недостатков в логической структуре их контента.
5. Метод оценки рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники позволяет перейти на более высокий уровень объективности риск-менеджмента при разработке указанных электронных руководств за счет формирования совокупности показателей риска в виде иерархической структуры.
6. Метод уменьшения рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники обеспечивает улучшение показателей результативности процесса разработки указанных руководств за счет экспликации на его базовую технологию методов теории аналитического планирования.
7. Метод оценки динамики качества обслуживания авиационной техники за счет использования ИЭТР позволяет добиться снижения итеративности в технологии создания интерактивных электронных технических руководств путем предложенной реализации обратной связи с качеством вышестоящего производственного процесса.

Обоснованность и достоверность. Обоснованность научных результатов обусловлена корректным использованием апробированного в научной практике исследовательского и

аналитического аппарата. Достоверность результатов проведенных исследований обеспечивается использованием современных методик обработки исходной информации и подтверждается совпадением результатов исследования с экспериментальными данными, практической реализацией как на предприятиях – разработчиках ИЭТР, так и предприятиях-эксплуатантах АТ.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов состоит в следующем:

- в оснащении технологий проектирования, создания ИЭТР для эксплуатации и ремонта АТ, процедур их совершенствования инструментарием корректного использования методов управления их качеством на основе процессного подхода к рассмотрению жизненного цикла указанного вида техники;

- в совершенствовании аналитических методов оценки и анализа показателей, составляющих качество ИЭТР, выявления аномалий качества этих программно-информационных продуктов;

- в расширении возможностей по снижению итеративности выработки проектных решений при разработке контента и компоновке программного обеспечения ИЭТР для эксплуатации и ремонта АТ;

- в предложении комплексного методологического аппарата, позволяющего анализировать и снижать риски проектов по разработке ИЭТР для АТ;

- во внедрении в практику создания ИЭТР для АТ научно-методических средств, основанных на принципах системного подхода к рассмотрению процессов эксплуатации и ремонта указанного вида техники;

- в уменьшении трудозатрат на разработку ИЭТР для эксплуатации и ремонта АТ (среднего времени разработки и отладки информационного модуля реализации типовой эксплуатационной (ремонтной) функции на 17 -19%);

- в уменьшении трудозатрат на сопровождение (среднего времени тестирования и отладки типового информационного модуля ИЭТР в 1,5-2 раза).

Разработана документированная информация в виде линейки типовых стандартов организации СТО-ПАНЕ.047-2017 «Организация управления качеством интерактивных электронных технических руководств», СТО-ПАНЕ.052-2018 «Процедуры улучшения качества интерактивных электронных технических руководств по вопросам эксплуатации (ремонта) авиационной техники», регламентирующая правила и процедуры управления качеством соответствующих программно-информационных продуктов в ходе их разработки, а также роли исполнителей и основные операции, которые доступны в рамках роли. Стандарты прошли внедрение и утверждение на предприятии-разработчике соответствующего программного обеспечения АО «ОКЕНИТ» (г. Санкт-Петербург) в 2017-18 годах.

Личный вклад автора состоит в непосредственной разработке совокупности методологических средств повышения результативности ИЭТР для эксплуатации и ремонта АТ за счет управления их качеством в процессе создания, прикладных методов оценки и уменьшения рисков проектов разработки указанных руководств. Автором также самостоятельно разработаны программные средства автоматизации предлагаемого научно-методического аппарата и методики их использования, а также указанная выше линейка типовых стандартов СМК организации. Основные научные результаты и выводы, содержащиеся в диссертации, получены автором самостоятельно. Соискатель принимал личное участие в апробации и внедрении результатов исследования, публикации результатов диссертации.

Реализация работы.

Результаты диссертационной работы нашли практическое применение при выполнении научно-исследовательских работ при участии Фроловой Е.А.:

1. НИР №03200900691 на тему «Оптимизация характеристик качества процесса разработки, производства изделий предприятия» (2007-2008 гг.);
2. НИР №03200901206 на тему «Менеджмент качества при проектировании и разработке новой продукции и модернизации выпускаемой продукции» (2008 г.);

3. НИР №02201153985 на тему «Разработка критериев контроля качества технологического процесса производства сложных технических систем» (2010 г.);
4. НИР №02201258800 на тему «Исследование и разработка методов и инструментов управления качеством проектов» (2011 г.);
5. НИР № 03201254448 на тему «Исследование и разработка современных методов управления качеством проектов» (2011 г.);
6. НИР №216030120070 на тему «Выполнение составной части научно-исследовательской работы «Комплексный анализ и разработка инструментария реализации целей и задач подпрограммы «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на период до 2025 года» (2015 г.)

Результаты диссертационной работы протестированы и апробированы при разработке и создании программно-информационных комплексов ИЭТР по эксплуатации различных видов АТ в ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, внедрены в АО «ОКЕНИТ», ОАО «ЦНПО «Ленинец», ООО «Пантес групп» в образовательный процесс ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Публикации. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 9 международных, 2 всероссийских и одной национальной научных конференциях.

По теме диссертации опубликовано 40 работ, из них: 10 – без соавторов, в том числе 16 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, 4 статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, 5 статей и 12 докладов в других изданиях.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 127 наименований, 6 приложений. Основной текст диссертации представлен на 373 страницах, включая 36 таблиц и 74 рисунка. Общий объем диссертационной работы с учетом приложений составляет 411 страниц.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приведено краткое обоснование актуальности темы диссертационного исследования, даны формулировки цели и основных задач, объекта и предмета исследования, а также научной новизны, теоретической и практической значимости диссертационной работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту (научные результаты), приведены сведения об апробации и внедрении указанных результатов, а также констатированы методы, примененные в ниже описанном исследовании.

Первая глава - «Качество современных интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники и соответствующие методы управления. Проблема и частные задачи исследования» - посвящена анализу предметной области с позиций требований к качеству и результативности разработки ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники с учетом их целевого предназначения и влияния на процессы технического обслуживания АТ.

Выявлены базовые подходы к управлению качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту АТ. Установлено, что ИЭТР это особый класс программно-информационных продуктов, реализующих концепцию интегрированной логистической поддержки, позволяющих не только представить в электронном виде структурированное описание эксплуатируемой техники и правил её обслуживания, но и с помощью мультисервисных технологий наглядно визуализировать её построение и функционирование. Применение ИЭТР в рамках организационной системы обслуживания авиационной техники следует рассматривать как соответствующую подсистему, включающую мероприятия по разработке, созданию и тиражированию всех категорий информационного материала по эксплуатации и ремонту летательных аппаратов (их узлов, агрегатов и аппаратуры), структурированное предметное содержание которого, представлено в электронно-цифровой форме и технически

поддерживается средствами электронно-вычислительной техники. Современные ИЭТР для авиационной техники это сложные программно-информационные продукты, имеющие клиент-серверную архитектуру, многогранную структуру информационных связей, включающих доступ к внешним источникам, а также развитую логику функционирования. Перспектива их развития на современном этапе тесно увязана с информационными технологиями глубокой виртуализации, что обеспечивает возможности мобильности электронного контента (т.е. снятия ограничений стационарных АРМ), широкое внедрение в ИЭТР программных решений виртуальной и дополненной реальности, создание непрерывной связи учебной и информационно-эксплуатационной среды при обслуживании и ремонте сложных образцов авиатехники. На базе указанных особенностей стало возможным представить программную архитектуру современных виртуализированных ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники (рисунок 1).

Проанализировано, что качество ИЭТР для обслуживания и ремонта АТ, как интегральный показатель удовлетворения потребностей специалистов-эксплуатантов указанного вида техники в информационно-логистической поддержке (ИЛП), обеспечивается непрерывностью связи информационно-проектировочной и информационно-эксплуатационной среды при освоении эксплуатантами сложных образцов современной авиатехники, т.е. реализацией принципа единства форм представления проектно-учебной информации и информации из эксплуатационной технической документации. Это является объективной потребностью подсистемы ИЛП эксплуатантов при эксплуатации АТ.

В ходе исследования установлено, что основные требования, классификация и функциональные задачи ИЭТР, применительно к различным видам авиатехники, на сегодняшний день определяются основным нормативно-техническим документом ГОСТ Р 54088-2010 Интегрированная логистическая поддержка. Интерактивные электронные эксплуатационные и ремонтные документы. Основные положения и общие требования.

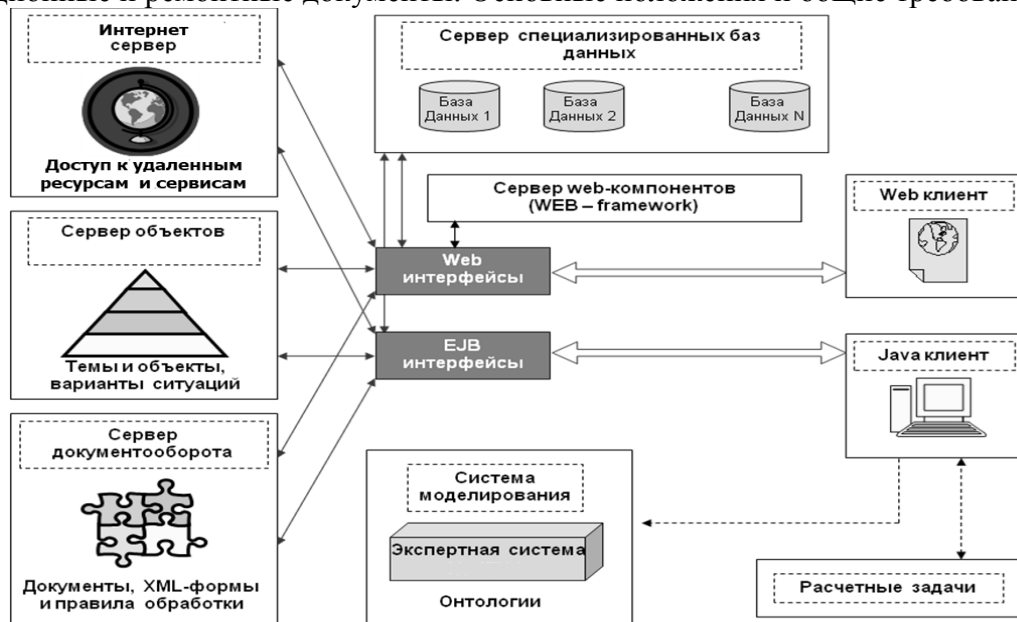


Рисунок 1 – Программная архитектура ИЭТР, реализованного в рамках концепции глубокой виртуализации

Результаты проведенного анализа взглядов на суть понятия “качество ИЭТР” позволили постулировать, что управление качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники есть постоянное и целебусловленное воздействие на характеристики этих программно-информационных продуктов в интересах достижения наилучших значений параметров, показывающих степень удовлетворения потребностей пользователей (эксплуатантов авиатехники), в соответствии с предназначением. С прагматической точки зрения, процесс управления качеством ИЭТР заключается в последовательном проведении процедур оценивания качества по совокупностям частных и сводных показателей, с целью

выявления причин его недостатков и аномалий, а также, процедур устранения причин выявленных несоответствий – т.е. процедур улучшения качества. Учитывая сложный, взаимозависимый характер связности показателей качества качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники выше указанный процесс управления их качеством носит многошаговый и итеративный характер.

Современная гамма средств управления (методы, модели, методики, процедуры, алгоритмы, подходы, приемы, способы, стандарты) качеством ИЭТР для авиационной техники не в полной мере удовлетворяют существующей совокупности специфических требований к технологическому процессу их проектирования и создания, а также реализации в нем процедур управления качеством. Это позволяет говорить о недостаточной научно-методической и технологической обеспеченности систем качества при разработке и создании ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники. Именно этот факт рассмотрен в работе как первопричина недостаточной отдачи от внедрения ИЭТР в процесс эксплуатации и ремонта авиационной техники на фоне широкой автоматизации и информатизации процессов аэродромного и предполетного технического обслуживания. Так, в таблице 1 прослеживается на базе множества применяемых средств управления качеством ИЭТР для авиационной техники соответствие, определяющие логическую связь методов научной квалиметрии и подходов управления потребительскими свойствами информационно-логистического обеспечения с применением соответствующих стандартов и инструментариев менеджмента качества.

В рамках диссертационного исследования показано, что специфика требований к технологическому процессу проектирования и создания ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники, и реализации в нем процедур управления качеством определяет необходимость учета при их проектировании и разработке соответствующих процедур обеспечения качества: как содержательно-информационного состава, так и программной реализации.

Таблица 1 – Базовое множество применяемых средств (методов, моделей, методик, процедур, алгоритмов, подходов, приемов, способов, стандартов) управления качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники

№	Наименование научных школ квалиметрии (теоретических и базисных основ)	Ученые-представители данной научной школы	Научно-методические средства управления качеством программных и информационных продуктов, применимые для управления качеством ИЭТР	Средства технологического управления качеством (нормативно-технические средства) применяемые для управления качеством ИЭТР при создании*
1.	Методология формализованной оценки программного обеспечения	Д.Холстед; Н. Кабак; В.В.Липаев; В.Г.Евграфов В.Н.Наумов и др.	Метрики Холстеда, им подобные методы и метрики.	ГОСТ 28806 -90 ГОСТ 15971-90 ГОСТ 34.201-89 ГОСТ 34.601-90 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 ГОСТ Р 50.1.030 -2001
2.	Метод оценки пользовательских свойств программного обеспечения	М.Джилб; С.Д.Бешелев; Ф.Г.Гурвич; С.А.Айвозян; В.С.Черепанов Р.М.Юсупов и др	Метрика Джилба, методы экспертного оценивания свойств программного обеспечения.	ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 ГОСТ Р 51904-2002 ГОСТ 2.601-95 ГОСТ Р ИСО 27000 – 2015 ГОСТ Р ИСО 25010 – 2015 ГОСТ Р 50.1.029 -2001 ГОСТ Р 50.1.030 -2001
3.	Методология инженерно-экономического проектирования программного обеспечения	Б.Боэм; В.В. Попович; Я.А.Ивакин; С.В.Мичурин и др.	Метод оценки качества и метрика Б.Боэма, методы и «методология» менеджмента качества.	ГОСТ Р ИСО/МЭК 15910-2002 ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 288-2005 ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 ГОСТ Р ЕН 9100 - 2011 Стандарт SPICE ГОСТ 18675-2012

4.	Теория экспертно-статистического оценивания свойств, методы проверки статистических гипотез и статистической значимости	Р.И.Азгальдов; О.С.Райхман; С.Д.Бешелев; Ф.Г.Гурвич; С.А.Айвозян; В.С.Черепанов; А.С.Васильев; Б.В.Бойцов и др.	Сочетание количественных методов инженерно-экономического проектирования программно-информационного обеспечения и менеджмента качества.	ГОСТ 28806 -90 ГОСТ Р ИСО 9000-2015 ГОСТ Р ИСО 27000-2015 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 ГОСТ Р ИСО 25010-2015 ГОСТ Р ЕН 9100 - 2011 ГОСТ Р 54088 -2010 ГОСТ Р 53393 -2009 ГОСТ Р 53394 -2009 ГОСТ Р 50.1.029 -2001 ГОСТ Р 50.1.030 -2001 Стандарт ISO 12297
5.	Квалиметрическая теория выборочной совокупности	Э. Деминг; Ф.Тэйлор; У.Шухарт; Д.Джуран; А.Фейгенбаум	Цикл улучшений Шухарта, принципы Деминга, спираль качества Джурана.	ГОСТ 34.201-89 ГОСТ 34.601-90 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010- 2011 ГОСТ Р ЕН 9100 - 2011 ГОСТ 18675-2012 ГОСТ 56874-2016
6.	Инжиниринг качества, теория полного контроля качества в организации	К. Исикава; Г.Тагути; Ш.Шинго; С.Синго; А.Г.Варжапетян и др.	Диаграммы Исикавы; метод робастного управления процессами; процессная модель качества.	ГОСТ 15971-90 ГОСТ 34.201-89 ГОСТ 34.601-90 ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010 ГОСТ Р ИСО 9000-2015 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 ГОСТ Р ЕН 9100 - 2011 ГОСТ 18675-2012 ГОСТ 56874-2016
7.	Всеобщее управление качеством TQM	Ф.Кросби; Т.Петерс; К.Меллер; М.Болдридж; Е.Г.Семенова; Г.И.Коршунов и др.	Философия качества Петерса; Модель TQM; RADAR-матрица; способы (методы) достижения делового совершенства.	ГОСТ Р ИСО 9000-2015 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 ГОСТ Р ИСО/МЭК 31 000 -2010 ГОСТ Р ИСО/МЭК 31 010 -2011 ГОСТ Р 15 901.1 – 2002 ГОСТ Р 15 901.2 – 2005 ГОСТ Р 15 901.3 – 2007 ГОСТ Р 15 901.4 – 2005 ГОСТ Р 15 901.5 – 2007 ГОСТ Р ЕН 9100 - 2011 ГОСТ Р 50.1.029 -2001 ГОСТ Р 50.1.030 -2001 ГОСТ 18675-2012 ГОСТ 56874-2016

*- жирным шрифтом выделены средства технологического управления качеством ИЭТР, нашедшие широкое применение именно в сфере информационно-логической поддержки процессов эксплуатации и обслуживания авиационной техники.

Однако, существующее множество применяемых средств управления качеством ИЭТР для авиационной техники, не в полной мере учитывают вышеуказанные требования. В частности, существующие средства управления качеством (методический инструментарий) во многом носят сугубо технический характер и не позволяют, в условиях возрастающего уровня требований к содержательному контенту, добиться именно рационализации построения и организации прежде всего содержательно-информационного состава ИЭТР и их баз данных. Очевидно доминирование именно программно-технических аспектов управления качеством ИЭТР для авиационной техники над содержательно-информационными.

Таким образом, в завершении первой главы сделан обобщающий вывод о выявлении актуальной потребности в синтезе специализированного научного и нормативного квалиметрического инструмента для управления качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники.

На основе изложенного выше констатируется, что логически-стройной и обобщенной теории управления качеством ИЭТР, вообще, и средств информационно-логистического обеспечения процессов эксплуатации и текущего ремонта авиационной техники, в частности, пока не существует. Существующие теоретические результаты и технологические наработки, способные составить базис выше указанной теории не структурированы, определяются по

междисциплинарному принципу и, в целом, носят несистемный характер. Соответственно, в текущий момент развитие квалиметрических методов, практических приемов и нормативной базы управления качеством ИЭТР по эксплуатации и текущему ремонту авиационной техники в основном носит эмпирический характер.

Вторая глава – «Методологические основы управления качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники» – включает в себя описание первых двух научных результатов диссертационного исследования: научно-методической концепции менеджмента качества ИЭТР по эксплуатации, ремонту авиационной техники и метод логических схем предметного контента для обеспечения указанного качества.

В силу того, что менеджмент или управление качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники есть последовательный процесс итеративных процедур оценивания и улучшения качества указанных информационно-программных средств логистической поддержки, стало возможным предложить единую методологическую платформу для указанных процедур в виде соответствующей концепции. Учитывая теснейшую связь возможностей программно-технологической платформы создания ИЭТР и контент-репрезентационных возможностей по логистической поддержке эксплуатантов, принято рациональным рассматривать качество указанных программно-информационных продуктов на двух уровнях представления: на предметно-логическом уровне (т.е. при синтезе и рационализации логико-информационной модели предметного контента ИЭТР), когда определяется вся гамма типов и конкретных значений отношений между компонентами данных, изыскиваются оптимальные объемы и формы представления предметных данных пользователю, и на информационно-технологическом уровне, когда производится их программная реализация. В этом заключается конструктив научно-методической концепции менеджмента качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники.

Существо научно-методической концепции менеджмента качества ИЭТР по эксплуатации, ремонту авиационной техники заключается в разработке соответствующей функциональной (организационно-технологической) системы управления качеством указанных электронных руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники в рамках технологического процесса их создания. Такая система реализуется как форма технологического процесса разработки и создания ИЭТР и позволяет за определенное число итераций обеспечить требуемый (заданный) уровень качества как на предметно-логическом, так и на информационно-технологических уровнях. Структура предлагаемой функциональной системы показана на рисунке 2.

Так же научно-методическая концепция менеджмента качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники рассматривается как методологически-объединяющая платформа для всех последующих научных результатов работы, т.е. она выступает логической базой для разработки целого ряда методов и практических рекомендаций по обеспечению качества ИЭТР соответствующего класса, по рационализации технологического процесса их разработки и применения и пр.

Во второй главе, на основе концепции менеджмента качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники, так же, предложен метод логических схем предметного контента для обеспечения качества указанного класса интерактивных электронных технических руководств.

Определено, что метод логических схем предметного контента ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники ориентирован на обеспечение качества на предметно-логическом уровне представления.

Указанные схемы представляют собой сетевое описание многоуровневой декомпозиции сложных образцов (агрегатов, узлов, блоков, схем и пр.) авиационных технических систем в рациональной последовательности их осмотра, проверки и освоения.

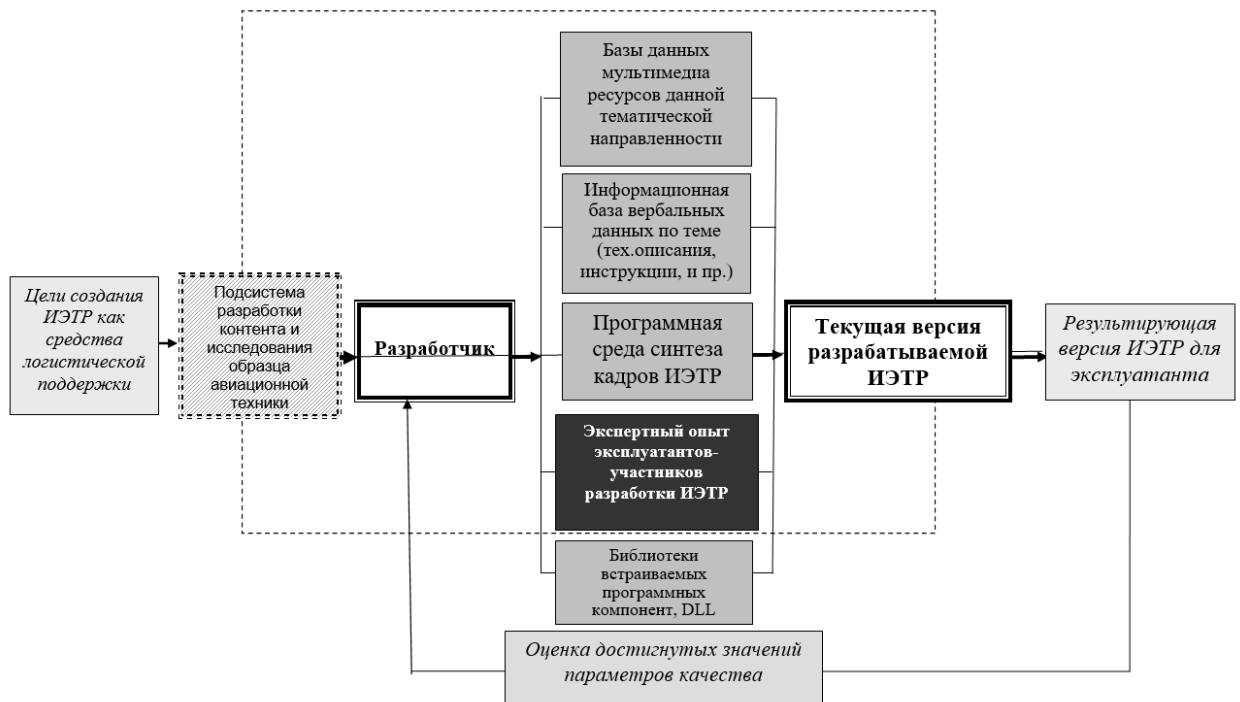


Рисунок 2 – Состав и структура функциональной системы управления качеством ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники

Соблюдение логической последовательности ЛСПК ТС в проверке, обслуживании и освоении образцов современной сложной авиатехники является необходимым условием гарантированного достижения результатов ремонтных работ, технического обслуживания эксплуатантами в рамках системы эксплуатации и аэродромного обслуживания самолетов, и других летательных аппаратов. Пример ЛСПК показан на рисунке 3 для примера блоков системы электропитания авиационной бортовой радиолокационной станции.

В частности, в состав метода логических схем предметного контента для обеспечения качества разрабатываемых ИЭТР включены: 1) Метод синтеза логических схем предметного контента эксплуатации и ремонта авиационной техники, 2) Базовая последовательность этапов разработки электронного контента на базе ЛСПК и 3) Практические рекомендации по программной реализации электронного контента в ИЭТР.

Метод синтеза ЛСПК представляет собой описание рациональной совокупности шагов разработки указанных схем для эффективного обследования авиатехники при её обслуживании. Синтез структуры ЛСПК сводится к учету информационных, содержательных и логических условий-переходов в последовательности проверок работоспособности узлов, блоков, схем и элементов образцов авиационной техники. В свою очередь, выполненный синтез структуры ЛСПК дает основания производить необходимые расчеты, связанные с получением числовых характеристик соответствующих действий и операций эксплуатанта, отражаемых электронном контенте ИЭТР. Предварительная разработка ЛСПК, как формы представления цифровых данных и метаданных электронного контента, для дальнейшего структурирования ресурсов ИЭТР, осуществляется в соответствии со специфической последовательностью действий эксплуатантов при проведении соответствующих работ технического обслуживания и ремонта приборов (узлов, агрегатов и пр.) авиатехники.

Базовая последовательность этапов разработки электронного контента на базе ЛСПК есть описание рекомендуемых мероприятий по созданию ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиатехники с использованием указанных логических схем. Ключевой конструктивной идеей, реализуемой последовательности этапов, является идея обеспечения качества за счет разработки и реализации сценария ИЭТР. Сценарий ИЭТР - формализованное, выполненное по установленным правилам изложение указаний по формированию содержательной части единицы электронного контента ИЭТР, включающее описание его кадров и регламент перехода

от кадра к кадру, предназначенное для использования в качестве исходных данных при реализации ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники в виде программно-информационного продукта для компьютера. В работе детально разработана технология проектирования электронного контента ИЭТР в виде сценария, который реализует логическую последовательность экспонирования и степень гранулированности предметного контента, определяемую соответствующими рационализированными ЛСПК.

Практические рекомендации по программной реализации электронного контента в ИЭТР представляют собой систематизированную совокупность описаний практических способов и приемов по реализации сценариев в компьютерной среде разработки. В рамках указанных рекомендаций обоснована структурно-логическая схема организации мероприятий по обеспечению качества разрабатываемых ИЭТР.

В завершении второй главы приведены результаты анализа ранка программных сред проектирования и разработки ИЭТР, который показал логический предел развития современного парка ИЭТР, для эксплуатации и ремонта сложной авиационной техники только на основе опыта текущей эксплуатационной практики. Это выражается, прежде всего, в недостаточном уровне качества указанных ИЭТР, недостаточном их влиянии на процессы аэродромного и планового обслуживания самолетов, и других летательных аппаратов, а в конечном итоге, недостижимость качественно нового уровня развития систем эксплуатации и ремонта указанного вида техники. Усложнение образцов авиационной техники, авионики, а также мультимедиа технологий моделирования предметных процессов, репрезентативных возможностей перспективных ИЭТР объективно диктует необходимость улучшения качества указанных средств интерактивной электронной логистической поддержки на обоснованных принципах системного подхода, а именно на базе метода ЛСПК для обеспечения качества разрабатываемых ИЭТР.

Третья глава – «Методы квалиметрического оценивания ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники» – включает методы оценки качества указанных средств информационно-логистической поддержки и интерпретации результатов такой оценки, а именно: I. Метод многоуровневой оценки качества ИЭТР для авиационной техники; II. Метод выявления аномалий качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники.

Метод многоуровневой оценки качества ИЭТР для авиационной техники содержит основные подходы, методологические и логико-математические инструментарии осуществления многопараметрического оценивания качества электронного контента указанных руководств.

В работе постулировано, что цель оценки качества ИЭТР для авиационной техники есть получение сводного заключения о достигнутой степени удовлетворения потребностей в создании интерактивных электронных технических руководств, в условиях нечеткости начальных экспертных данных, используемых для оценки. Иными словами, проведение оценки качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники есть установление их соответствия требованиям по заранее заданной сети показателей этого качества. Сводные и интегральные показатели при этом квалиметрическом оценивании будут сложными, т.е. будут композиционно образовываться из более простых показателей. Сводные показатели не подлежат непосредственному измерению или оценке. Их деинтегрируют на более простые. Чем и определяется многоуровневый характер оценки.

Показано, что оценка качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники очевидно увязана с нечисловыми или «мягкими» измерениями, в силу нечеткого характера начальных квалиметрических данных, получаемых от эксперта. В таком варианте «измерение» следует понимать, как манипуляцию, при которой свойствам ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники соотносятся в соответствие некоторые строго упорядоченные градации качества. В роли количественных результатов измерения рассматриваются не только действительные числа, но и другие алгебраические группы, обязательно имеющих отношение порядка между своими элементами, то есть подобие отношения неравенства между числами.

Обобщенная схема расчета значений показателей оценки качества есть существо разработанного метода оценки качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной

техники. Она, для оценивания конкретных исполнений указанных ИЭТР, включает три основных шага: 1. Построение численных векторов значений элементарных показателей качества; 2. Расчет рангов, определяющих значимость показателей качества в их композициях по получаемым в ходе экспертизы нечетким и(или) недостаточным исходным данным о композиционной значимости более частных показателей в составе более сводных показателей:

3. Расчет на основе численных векторов значений элементарных показателей и оценок рангов значимости, для анализируемого исполнения ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники значения интегрального показателя качества, как взвешенного среднего арифметического значений математически аналогичных более частных показателей. Эта расчетная схема позволяет логически обобщить в единую общность процедуры шкалирования и рандомизации рангов значимости показателей в рамках метода оценки качества указанных ИЭТР.

Необходимость определения численных векторов значений элементарных показателей качества задается тем, что при разработке ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники исходными данными для оценивания, выступает не столько информация от объективных, инструментальных измерений, но и от субъективных, экспертных оценок, понимаемых как нечеткие данные. Именно математический учет этих специфических входных данных квалиметрического оценивания ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники составляет суть первого шага предлагаемого метода. Аппарат данного шага метода дает возможность «измерять» любые значения показателей качества ИЭТР авиационной техники по разнородным шкалам различной размерности: как по числовым, так и по ординальным шкалам. Такая возможность выбора шкалы измерения позволят перейти от исходных характеристик-свойств к нормированным отдельным показателям, принимающим значения из одного заданного интервала. Алгебраически указанный переход заключается в проведении преобразований шкал для значений сводного показателя $Q(q; w)$ относительно любой системы строго возрастающих преобразований $\varphi_i(q_i), i = 1, \dots, m$, как ниже указано:

$$\begin{aligned} [Q(q_1, \dots, q_m; w) \geq Q(q'_1, \dots, q'_m; w)] \Leftrightarrow \\ [Q(\varphi_1(q_1), \dots, \varphi_m(q_m)) \geq Q(\varphi_1(q'_1), \dots, \varphi_m(q'_m))] \end{aligned} \quad (1)$$

Указанная нормализация значений всех частных показателей качества ИЭТР дает возможность корректно ввести термин "ранг композиционной значимости", определяющего агрегативную значимость более частных показателей в составе более сводных показателей.

Существо шага номер два в рамках разработанного метода, это определение значений рангов, определяющих значимость показателей качества ИЭТР в их композициях по получаемым в ходе экспертизы нечетким и(или) недостаточным исходным данным. Оно заключается в построении семейства всех возможных числовых векторов рангов значимости, учете нечетких (экспертных) данных о приоритетности соответствующих показателей, и расчете сводного числового вектора рангов значимости. Этот математический аппарат предусматривает построение числовой сетки для m показателей качества ИЭТР с дискретным шагом n . Далее эта сетка прореживается по нечетким данным I от экспертов о приоритетности тех или иных показателей. Формально такие начальные данные представляются в виде системы неравенств. В итоге проведения исключений из начальной цифровой сетки числовых векторов, не отвечающих нечетким (экспертным) данным I , остается n числовых векторов, поразрядно проведя усреднение и, нормализовав которые, становится возможным рассчитать ранги композиционной значимости для m показателей качества ИЭТР. Иными словами, ранги значимости определяются как алгебраическое среднее по каждому из m показателей на множестве n прореженных векторов из N начальных числовых векторов. Каждый ранг значимости, с учетом нечеткости задания данных для прореживания исходной цифровой сетки, рассчитывается как случайная величина: т.е. определяется математическое ожидание значения ранга значимости

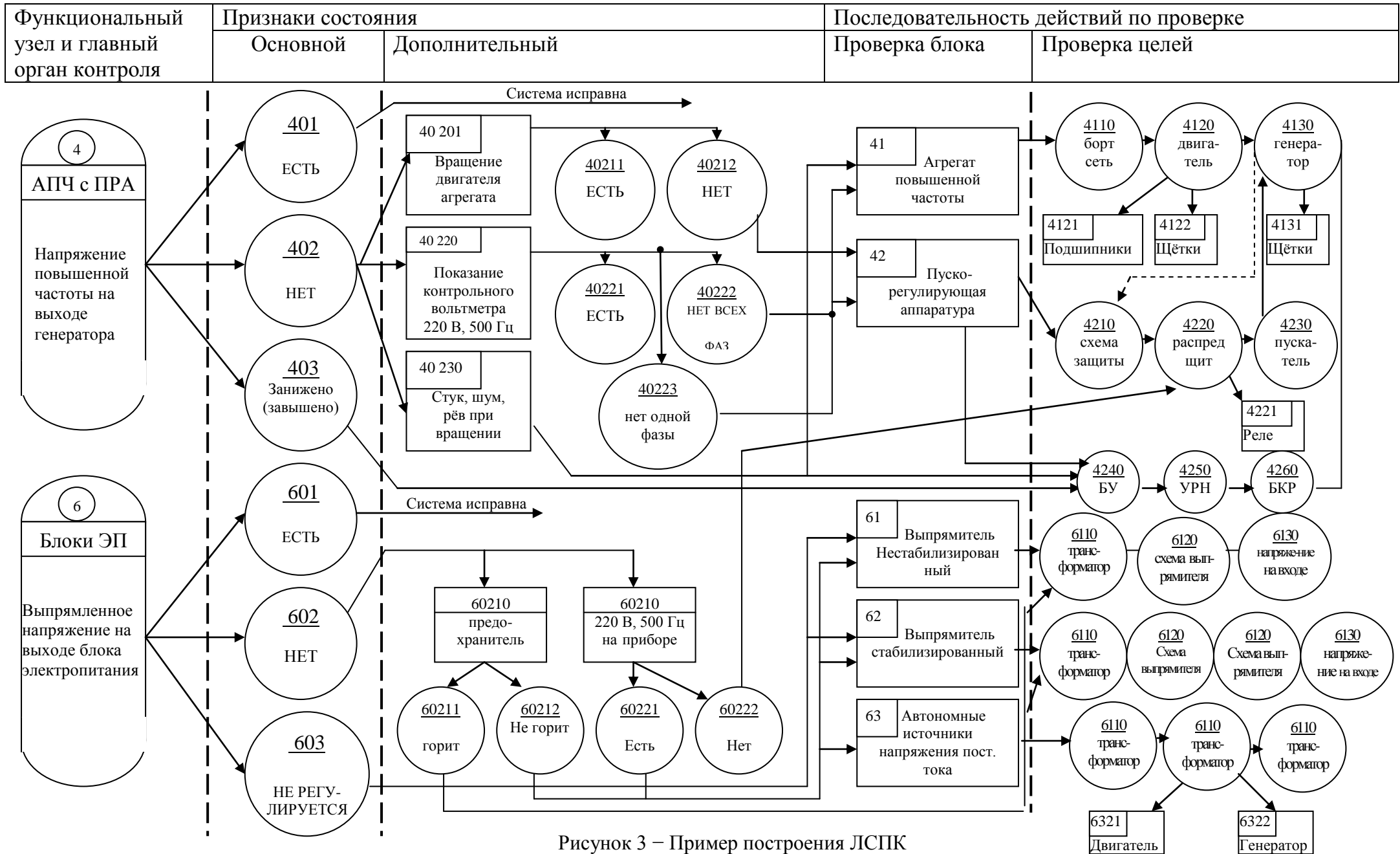


Рисунок 3 – Пример построения ЛСПК

$$\bar{w}_i = M \tilde{w}_i = \frac{1}{N(m,n)} \sum_{t=1}^{N(m,n)} w_i^{(t)} = \frac{\sum_{t=1}^{N(m,n)} w_i^{(t)}}{m}, \quad (2)$$

и соответствующее ему значение дисперсии случайной величины или стандартного среднеквадратического отклонения, как меры точности этого значения ранга значимости

$$s_i = \sqrt{D \tilde{w}_i} = \sqrt{\frac{1}{N(m,n)} \sum_{t=1}^{N(m,n)} [w_i^{(t)} - \bar{w}_i]^2} = \sqrt{\frac{m-1}{m^2(m+1)} + \frac{1}{n} \frac{m-1}{m(m+1)}}. \quad (3)$$

Предлагаемый математико-алгоритмический инструментарий учета композиционной важности более простых показателей оценки качества ИЭТР в составе более сложных с помощью рангов значимости, определяемых методами «мягких вычислений», дает возможность учесть любые фрагментарные и нечеткие экспертные данные о сравнительном весе отдельных показателей в составе сводных. Это обеспечивает разработанному методу оценки необходимую гибкость при работе с исходной гетерогенной информацией квалиметрического оценивания.

Суть шага номер три предлагаемого метода в расчете сводных и интегрального показателей качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники. Этот расчет заключается в агрегировании текущих значений отдельных показателей и полученных по ним рангов значимости, в соответствии с многоуровневой иерархической сетью показателей качества. Эффективное использование мягких вычислений при оценке качества ИЭТР авиатранспортом, позволило оценивать изначально элементарные показатели качества по одной иерархической сети показателей с помощью шкал различных типов, т.е. численные значения таких показателей определяются изначально на различных математических множествах. Это предопределяет специфические требования к целевой функции оценивания, которая обеспечивает свертку значений элементарных показателей в сводные и интегральный показатели качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники. В ходе диссертационного исследования детально обоснована математическая форма целевой функции оценивания, так из совокупности агрегирующих функций, соответствующих условиям монотонности и нормировки, доопределен подкласс взвешенных средних, формирующих сводные показатели вида

$$\tilde{Q}(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x)); \tilde{w}) = Q(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x)); \tilde{w}; \tilde{\psi}) = \tilde{\psi}^{-1} \left(\sum_{i=1}^m \tilde{w}_i \tilde{\psi}(\tilde{q}_i(\tilde{\varphi}_i(x))) \right), \quad (4)$$

где $\tilde{u} = \tilde{\psi}(v)$ – стохастический процесс по непрерывному строгому возрастанию функции; $\tilde{v} = \tilde{\psi}^{-1}(u)$ – стохастический процесс, существо которого есть непрерывные строго возрастающие функции $v = \psi^{-1}(u)$, обратные к функциям $u = \psi(v)$. Неопределенность выбора функции $u = \psi(v)$, задаваемой процессом $\tilde{u} = \tilde{\psi}(v)$, можно уменьшить, строго определив математическую форму ψ . Так, в работе показано, что при ψ – степенной: $u = \psi(v) = u^\lambda$, $\lambda > 0$, $v = \psi^{-1}(u) = \sqrt[\lambda]{u}$, и тогда будет получено взвешенное степенное среднее:

$$\tilde{Q}(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x)); \tilde{w}) = Q(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x)); \tilde{w}; \tilde{\lambda}) = \left(\sum_{i=1}^m \tilde{w}_i \tilde{q}_i^{\tilde{\lambda}}(\tilde{\varphi}_i(x)) \right)^{1/\tilde{\lambda}}. \quad (5)$$

При $\lambda = 1$ формула (5) меняется во взвешенный средне-арифметический вид:

$$Q_+(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x)); \tilde{w}) = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i \tilde{q}_i(\tilde{\varphi}_i(x)), \quad (6)$$

что дает возможность в качестве базисной математической формы сводных показателей оценки качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники применять линейную аддитивную форму:

$$\tilde{Q}_+(q) = Q_+(q; \tilde{w}) = Q_+(q_1, \dots, q_m; \tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m) = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i q_i \quad (7)$$

В ходе диссертационной работы детально рассмотрено 4 типа конкретных форм интегрального критерия оценки качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники, в зависимости от существа полученных от экспертов входной квалиметрической информации.

Таким образом, применение алгебраического инструментария мягких вычислений для учета нечеткости входных квалиметрических данных от экспертов, при аддитивной форме целевой функции оценивания дает эффективный комплекс возможностей получения численных векторов значений элементарных показателей качества и гетерогенного математического аппарата их интегрального сворачивания. Именно это составляет конструктив предлагаемого метода, определяющий его применимость в условиях нечеткости и фрагментарности исходных данных от экспертов, используемых для квалиметрического оценивания ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники.

Целью разработки метода выявления аномалий качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники является предметная целенаправленная интерпретация результатов оценки указанного качества. Данный метод есть совокупность соответствующей логико-математической модели таких аномалий, разработанной применительно к логическим схемам предметного контента и алгоритма её применения в рамках технологического процесса создания интерактивных электронных руководств.

Модель аномалии качества ИЭТР предусматривает рассмотрение структуры ЛСПК как некоторого базового графа, а аномалии как более частного графа. Такой более частный граф представляет собой графическое описание различных частных искажений логики, описываемой в виде ЛСПК. Такая репрезентация аномалии качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники графом изоморфно вложенным в структуру его ЛСПК позволяет свести выявление указанных аномалий к математико-алгоритмической задаче распознавания или поиска соответствующего изоморфного подграфа в структуре соответствующей логической схемы. Это позволяет обнаружить и распознать устойчивые структурные вложения, характеризующие логические ошибки подачи электронного контента в ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники из перечня/базы заранее определённых аномальных логических подструктур. Существо данной стержневой идеи модели аномалии ИЭТР (метода их выявления) поясняется на примере, показанном на рисунке 4: приведены два графа G_1 – описывает структуру ЛСПК для ИЭТР и G_2 – описывает структуру логически некорректной процедуры эксплуатации или ремонта образца авиатехники, и соответствующие им матрицы смежности. Подграф графа G_1 изоморфный графу G_2 выделен серым цветом – т.е. такая часть структуры ЛСПК для ИЭТР, которая требует логического перестроения изложения, изменения степени гранулярности предметного контента и пр.

Алгоритм распознавания изоморфного вложения графа-аномалии качества на структуре ЛСПК ИЭТР описывает пошаговую реализацию математического метода теории графов, который является комбинированным методом направленного перебора на графе. Он объединяет в себе основные преимущества, которые дают методы направленного перебора, использующие локальные, квазиглобальные и глобальные инварианты. В разработанном в ходе исследования алгоритме используются следующие инварианты: число вершин; число рёбер $m(L)$; вектор степеней $S(L) = (s_1, s_2, \dots, s_n)$, который, в частности, даёт числовые инварианты $s(L) = \min S(L, x)$ и $s'(L) = \max S(L, x)$; полустепень исхода $S^-(x)$; полустепень захода $S^+(x)$; матрица смежности $A(L)$.

В рамках диссертационного исследования алгоритм распознавания изоморфного вложения графа-аномалии качества на структуре ЛСПК ИЭТР детально структурирован и разработан применительно к специфическим ограничениям общего решения задачи поиска вложений в составе графа, изоморфных заданному, для указанной предметной области.

При этом перечень ограничений не является полным и закрытым; ограничения выполняют роль логического фильтра.

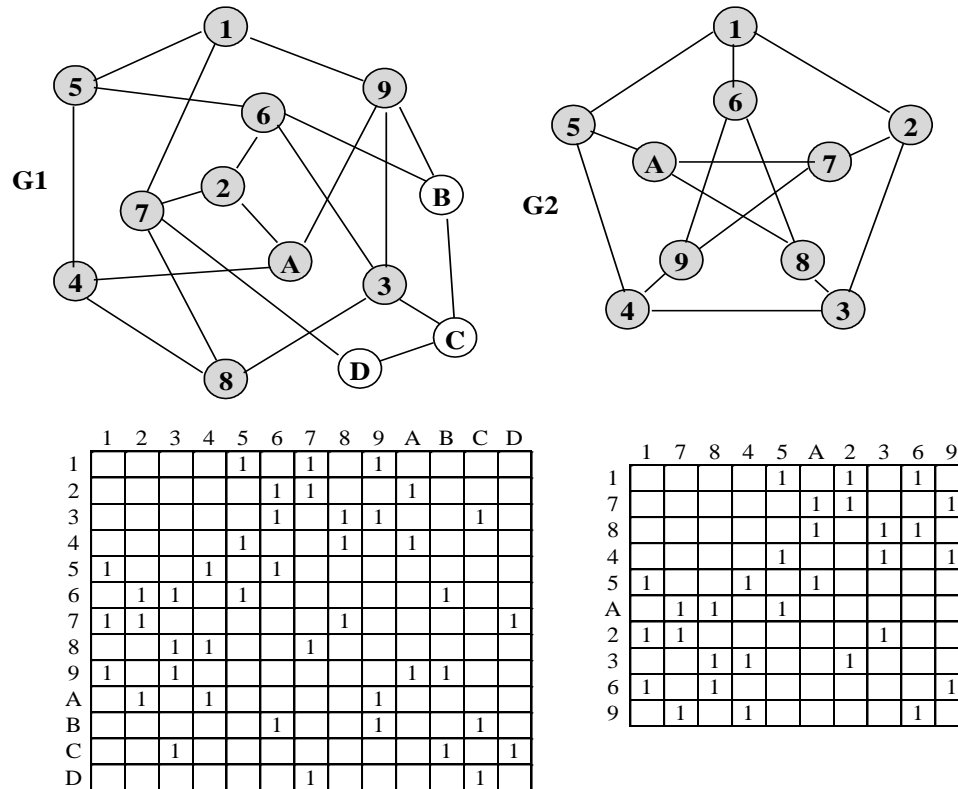


Рисунок 4 – Изоморфное вложение графов $G_2 \rightarrow G_1$ и соответствующие им матрицы смежности

В зависимости от узкой специфики решаемой задачи распознавания изоморфного вложения графа-аномалии качества на структуре конкретной ЛСПК текущего ИЭТР могут вводиться т.н. дополнительные фильтры – требования. Результатирующим вариантом разработки предлагаемого алгоритма стало его пошаговое формализованное описание, включающее 13 логических шагов-процедур с иллюстрирующим видом изменений матрицы возможных подстановок.

В завершении третьей главы констатируется, что, в целом, метод выявления аномалий качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники представляет собой как методологический инструментарий, так и мощную базу для создания соответствующих образцов программных решений по автоматизации процедур корректной корректировки структуры и контент-наполнения рассматриваемых интерактивных электронных технических руководств.

Четвертая глава – «Методы управления рисками проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники» включает описания методов оценки и уменьшения рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники.

Метод оценки рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники состоит из 4 взаимосвязанных процедур, каждая из которых имеет свою относительную самостоятельную сущность: 1). построения и взвешивания сети рисков; 2). оценки элементарных рисков; 3). шкалирования показателей в составе сети рисков; 4). оценки сводных и интегрального рисков.

Первая процедура позволяет обоснованно получать полный состав и структуру сети показателей для проектов по разработке ИЭТР в интересах эксплуатации и ремонта авиационной техники, в виде совокупности показателей оценки риска и связей между ними. Построение и взвешивание сети показателей G для оценки рисков в своей логической основе имеет классический метод построения дерева целей и задач. Риски для всех задач, подзадач и понятий проекта создания ИЭТР в идеальном случае, должны найти свое отражение в соответствующей сети показателей оценки рисков G . Множество показателей оценки риска X состоит из подмножества показателей $\{\tilde{x}_i\}$ формируемых с участием более простых показателей риска, и подмножества терминальных (то есть не декомпозируемых, элементарных) показателей риска, соответствующих т.н. “листьям” дерева целей и задач.

Взвешивание, т.е. определение композиционной значимости, каждого из показателей в составе структуры древовидной сети показателей риска G производится с использованием математического метода анализа иерархий. На основе локальных весов, удовлетворяющих требованиям достаточной согласованности, определяются глобальные веса для каждого показателя $r_i \in R$ в древовидной сети G , которые показывают степень влияния оценки по этому показателю риска на интегральное заключение об уровне риска для проекта ИЭТР.

Вторая процедура оценки элементарных рисков представляет аппарат оценки рисков, соответствующих терминальным показателям древовидной сети рисков в терминах лингвистической переменной, перевода этих оценок в количественную форму. В этой подмодели на основании апробированных подходов согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011, приняты традиционные номинальные (т.е. качественные, описательные) шкалы для градации вероятностей наступления неблагоприятных событий и градаций возможного ущерба (последствий). На базе указанных градаций ущерба и вероятности неблагоприятных событий сформулирована итоговая шкала градации категорий рисков по степени опасности, показанная в таблице 2.

Потребность дальнейшей свертки значений риска в значение интегрального показателя в виде некоторых числовых значений объективно определила необходимость количественного представления указанных градаций составляющих риска (вероятностей наступления неблагоприятных событий и возможного ущерба) с использованием математического аппарата одной из нечетких алгебр. В ходе исследования за основу была обоснована принята алгебра нечетких чисел и реализованный на её основе аппарат лингвистических переменных. Так, в частности, градации составляющих элементарного риска рассмотрены как термы лингвистических переменных $B1 = \langle \text{«вероятность наступления неблагоприятных событий»} \rangle$ и, соответственно, $B2 = \langle \text{«размер возможного ущерба»} \rangle$.

Таблица 2 – Шкала градации категорий рисков по степени опасности

№ п/п	Обозначение	Идентификатор уровня риска	Характеристика градации по уровню реагирования на риск	Цветов. диффер.
1.	ЭКС	Экстремальный риск	Требуются немедленные и массивные корректирующие действия с привлечением ресурсов вышестоящего руководства	
2.	ВСК	Высокий риск	Требуется внимание руководства, заказчика ИЭТР, с частичным и плановым привлечением внешних ресурсов	
3.	УМР	Умеренный риск	Требуется внимание руководителя группы разработки, реализация полноты их формальных компетенции и ответственности	
4.	НЗК	Низкий риск	Локализуется в рамках типовых схем функционирования, управляется рутинной процедурой	

Показано, что в общем виде для значений $B1$ и $B2$ лингвистическая переменная B^{\wedge} задается так:

$$B^{\wedge} = \langle \beta, F^{\wedge}(\beta), X^{\wedge}, G^{\wedge}, M^{\wedge} \rangle, \quad (8)$$

где β – имя для лингвистической переменной;

$F^{\wedge}(\beta)$ – терм-множество лингвистической переменной β , т.е. множество вербальных (словесно-описательных) значений переменной β , причем каждое из этих значений является нечеткой переменной с областью определения X^{\wedge} ;

G^{\wedge} – синтаксическое правило, обычно имеющее форму грамматики, порождающее значения α^{\wedge} нечетких переменных вербальных значений лингвистической переменной β ($\alpha^{\wedge} \in F^{\wedge}(\beta)$);

M^{\wedge} – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной $\alpha^{\wedge} \in F^{\wedge}(\beta)$ нечеткое множество.

Учитывая оценочный и приближенный характер процедур анализа рисков для проектов разработки ИЭТР, нечеткий характер проводимых вычислений в рамках разработанного метода, а так же результаты экспертного исследования, полученные в ходе диссертационной работы, сделан вывод о рациональности построения функции принадлежности μ_T^B термов для $B1$ и $B2$ в виде треугольных нечетких чисел (ТНЧ).

Функции принадлежности нечетких чисел – термов лингвистической переменных графически будут задавать шкалу нечеткого оценивания соответствующих составляющих элементарного риска. Существо экспертного оценивания по метод относительных частот при построении функций принадлежности μ_T^B для термов сведется к определению конкретных модальных значений и коэффициентов нечеткости для нечетких чисел, выступающих в качестве этих термов.

Тогда оценка риска сводится к построению матрицы последствий и вероятностей, которая связывает такие входные параметры как экспертные оценки вероятностей неблагоприятных событий и оценки возможного (потенциального) ущерба с выводом об уровне риска, который, в свою очередь, предопределяет форму и объем реагирования на указанный риск. Описанное выше преобразование упорядоченных градаций оценки вероятностей наступления и оценок возможного, иными словами потенциального, ущерба в виде соответствующих лингвистических переменных $B1 = \langle \text{вероятность наступления неблагоприятных событий} \rangle$ и $B2 = \langle \text{размер возможного ущерба} \rangle$ позволяет рассмотреть каждую ячейку матрицы последствий и вероятностей для элементарных показателей риска проекта разработки ИЭТР тоже как нечеткое число. Такое нечеткое число $\tilde{B}_{ij} = \langle \text{риск по текущему показателю} \rangle$ определяется как произведение соответствующих значений лингвистических переменных $B1 = \langle \text{вероятность наступления неблагоприятных событий} \rangle$ и $B2 = \langle \text{размер возможного ущерба} \rangle$: то есть i -го терма от $B1$ и j -го терма от $B2$. В условиях, когда терм-множества указанных лингвистических переменных для составляющих риска представлены в виде ТНЧ, функций принадлежности $\mu_T^{\tilde{B}_{ij}}$ для значений \tilde{B}_{ij} определяются по правилам операции умножения нечетких чисел (интервалов) из алгебры нечетких множеств.

Внешнему представлению матрицы последствий и вероятностей сопоставлено представление, которое позволяет выразить мнение эксперта количественно на базе теории нечетких чисел, а затем использовать в процессе интегральной свертки значений оценок элементарных показателей в сводные показатели риска для проекта разработки ИЭТР, используя алгебру нечетких вычислений. При таком подходе сама матрица представляет собой шкалу оценки элементарного риска для проекта разработки ИЭТР, а оценивание текущего его значения экспертом будет заключаться в определении соответствующей ячейки этой матрицы (и соответствующего этой ячейке нечеткого значения риска), что показано на рисунке 3.

Процедура шкалирования сводных показателей в составе сети рисков предполагает, что получив оценки рисков по элементарным показателям в виде единого значения нечеткого числа характеризующего риск, далее оперировать со значениями именно переменной $\tilde{B}_{ij} = \langle \text{риск по текущему показателю} \rangle$. При этом шкалирование каждого из сводных показателей оценки рисков для проекта разработки ИЭТР сведется к расчету функций принадлежности нечетких

чисел $\mu_T^{\tilde{B}_{ij}}$ для значений \tilde{B}_{ij} , характеризующих каждый из сводных показателей риска в выше рассмотренной сети показателей. В работе приведена и детально обоснована расчетная схема получения всех значений функций принадлежности нечетких чисел $\mu_T^{\tilde{B}_{ij}}$ для значений \tilde{B}_{ij} .



Рисунок 5 – Оценки риска по элементарному показателю по термам лингвистической переменной

Показано, что значения оценок рисков по сводным показателям в виде нечетких чисел в числовом представлении Y_p и в виде термина лингвистической переменной \hat{Y}_p накладываются на шкалу лингвистической переменной $\tilde{B}_{ij} = \text{«риск по текущему показателю»}$ и интерпретируются путем анализа итогового совпадения функции принадлежности нечеткого числа $\mu_T^{\tilde{B}_{ij}}$ значения оценки с градациями категорий рисков R' для текущего показателя r_i в иерархической сети G оценки рисков для проектов разработки ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники, по типу:

$$\tilde{B}_{ij} = \{ \text{«УМР»}/0,8; \text{«ВСК»}/0,7 \}. \quad (9)$$

В итоговой процедуре расчета сводных и интегральных показателей рисков описан математический аппарат обоснования формы интегральной свертки показателей риска и расчета их значений.

Принято, что интегральный показатель риска для проектов разработки ИЭТР в обобщенном виде должен иметь вид

$$Y = f(y_1(r_1), y_2(r_2), \dots, y_i(r_i), \dots, y_n(r_n)), \quad (10)$$

где $y_i(r_i)$ ($i = \overline{1, n}$) – оценка риска по i -му элементарному показателю r_i ; n – число элементарных показателей риска в сети оценки ($n < \rho$); ρ – общее число показателей, анализируемых при оценке рисков. При определении вида и формы сводных и интегральных показателей риска для проектов разработки ИЭТР обоснован ряд ограничений на вид агрегируемых показателей: существования, непрерывности, независимости по приращению и предпочтению. Выполнение этих ограничений позволяет представить интегральный показатель

риска для проектов разработки ИЭТР в аддитивной $Y = \sum_{i=1}^n y_i(r_i)$, в нормированной аддитивной

$Y = \sum_{i=1}^n k_i y_i(r_i)$ и в мультипликативной $Y = \prod_{i=1}^n y_i(r_i)$ формах. Экспериментальная проверка

валидности метода показала, что для числа элементарных показателей, агрегируемых в сводные, которое для разных вариантов проектов разработки ИЭТР для авиационной техники различно и находится в пределах от 40 до 70, и при независимости единичных показателей все сводные и интегральные показатели риска указанных проектов могут быть представлены в виде нормированных аддитивных показателей, а именно как интегральные свертки линейной формы.

Метод уменьшения рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники включает обоснование и описание последовательности этапов планирования мероприятий противодействия рискам, алгоритмов управления рисками в проектах по разработке ИЭТР, приемов планирования мероприятий по ослаблению указанных рисков.

Обобщенная блок-схема алгоритма управления рисками проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники в нотации блок-схем представлена на рисунке 6. На нем показано соответствие основных этапов оценки и выработки плана противодействия рискам проектов по разработке ИЭТР основным блокам алгоритма.

В рамках разработки данного метода обоснованы основные требования к планам мероприятий по ослаблению рисков проектов по разработке ИЭТР: 1) линейность процесса, 2) объективизация процесса, 3) разделение работ на поиск рациональных вариантов противодействия рискам и на осуществление контроля и оценки организации проекта по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники. Исходя из названных требований, в методе принят подход комплексного и системного ослабления рисков. Реализация принципов комплексного и системного ослабления рисков для проектов ИЭТР может быть осуществлена на базе использования методов аналитического планирования.

Обосновано, что при планировании мероприятий по уменьшению (ослаблению) рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники должны быть использованы два вида аналитического планирования: 1) прямое от существующего уровня рисков к допустимому, 2) обратное – обеспечение кратчайшего пути достижения желаемого уровня рисков.

Осуществлена постановка задачи оптимизации планирования мероприятий по уменьшению (ослаблению) рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники. Пусть рассматривается множество $\{S_j\}$ вариантов плана мероприятий по уменьшению (ослаблению) рисков проекта ИЭТР, из которых должен быть выбран оптимальный план S^V в соответствии с показателем $R_{S_j} = f(\bar{b}_{S_j}, \bar{d}_{S_j}, \bar{r}_{S_j})$, где: \bar{b}_{S_j} – глобальный вес воплощения в жизнь плана S_j на значения риска в вершинах сети показателей риска (графа критических рисков на основе которого определяется S_j); \bar{d}_{S_j} – оценка возможностей реализаторов воплотить в жизнь текущий план S_j в заданном составе; \bar{r}_{S_j} – оценка ресурсоемкости (временных и человеческих затрат, цены потерь и пр.) выполнения плана S_j . Целевая функция $R^* = \min(R_{S_j})$.

Ограничения формулируются в зависимости от конкретных условий реализации проекта ИЭТР. Выделены три основных типовых ситуации: 1) ограничения ресурсов, 2) ограничения возможностей реализаторов воплотить в жизнь текущий план, 3) ограничения ресурсов и возможностей реализаторов.

В рамках разработанного метода выбор варианта плана должен производиться только для показателей $\{y(r_i)\}$, с высоким значением риска. Поэтому введен подалгоритм определения иерархического графа критически высоких рисков G^- на основе сети G^+ показателей рисков для проекта ИЭТР, включающего множество показателей, не удовлетворяющих требованиям критического уровня риска, и множество связей между ними с характеризующими их

значениями локальных весов. Второй подалгоритм – алгоритм гомеоморфного преобразования подграфа критически высоких рисков G^- с целью упрощения.

Затем рассчитываются значения локальных весов дуг и осуществляется их нормализация.

Полученный взвешенный граф критически высоких рисков G^- позволяет выбрать наиболее рациональный план снижения рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники. Такой вариант плана устанавливается путем анализа вариантов действий реализаторов по уменьшению значений риска по каждому из частных показателей путем детализации процедур прямого и обратного планирования.

Предложенный метод позволяет не только получить заключение о существующем уровне рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники, но и интерпретировать его как объективную основу для планирования мероприятий по уменьшению (ослаблению) указанных рисков.

Пятая глава – «Совершенствование качества обслуживания авиационной техники за счет использования ИЭТР. Оценка эффективности результатов исследования» посвящена разработке метода оценки динамики качества обслуживания авиационной техники за счет использования ИЭТР и анализу эффективности результатов проведенной исследовательской работы.

Метод оценки динамики качества обслуживания авиационной техники за счет использования ИЭТР является системообразующим элементом всего разработанного в данном диссертационном исследовании инструментария управления качеством интерактивных электронных технических руководств, оговоренных класса и категорий использования. Он позволяет проследить и оценить, с требуемым уровнем доверия, оцениваемого количественно, взаимосвязь качества обслуживания авиационной техники и качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту этой техники. Методологически он представляет собой совокупность соответствующей игровой модели оценки динамики качества обслуживания авиационной техники и методики проверки статистической значимости получаемых значений эффекта от использования ИЭТР. В рамках этого метода процесс обслуживания авиационной техники и ремонта, с целью предотвращения возникающих неисправностей и отказов, рассмотрен как неантагонистическая игра (т.н. «игры с природой» в классификации направлений Исследования операций) – именно такой математико-логический подход положен в основу моделирования динамики качества обслуживания авиационной техники с использованием средств информационно-логистической поддержки, а именно ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники.

При этом участники игры: 1) Игрок 1 – Технический эксплуатант авиационной техники (инженер по текущему ремонту авиационной техники, техник аэродромного обслуживания и пр.), реализующий мероприятия технического обслуживания и ремонта конкретных образцов авиатехники или ЛА (Например, инженер-настройщик бортовой навигационной радиолокационной станции самолетов ряда Боинг-737); 2) Игрок 2 («природа») – образец авиационной техники заданного типа и конструктивного вида реализации (Например, бортовая радиолокационная станция AN/APY-2-2214/S4, устанавливаемая на самолетах Боинг-767 и Боинг-767-300). Стратегиями Игрока 1 являются последовательности осмотра, проверки и освоения узлов или агрегатов обслуживаемой техники (По существу, частные методики проведения технического обслуживания, текущего ремонта при выявлении определенных признаков неисправности), из которых он выбирает к реализации такие, которые позволяют добиться устранения возможной неисправности (или убедиться в её отсутствии) наилучшим образом (т.е. гарантировано и с наименьшими ресурсо- и трудозатратами). Стратегиями Игрока 2 являются спонтанно, т.е. случайно и незакономерно, возникающие неисправности (отказы, сбои, признаки неработоспособности и пр.), на предупреждение и устранение которых направлены мероприятия технического обслуживания и планового ремонта.

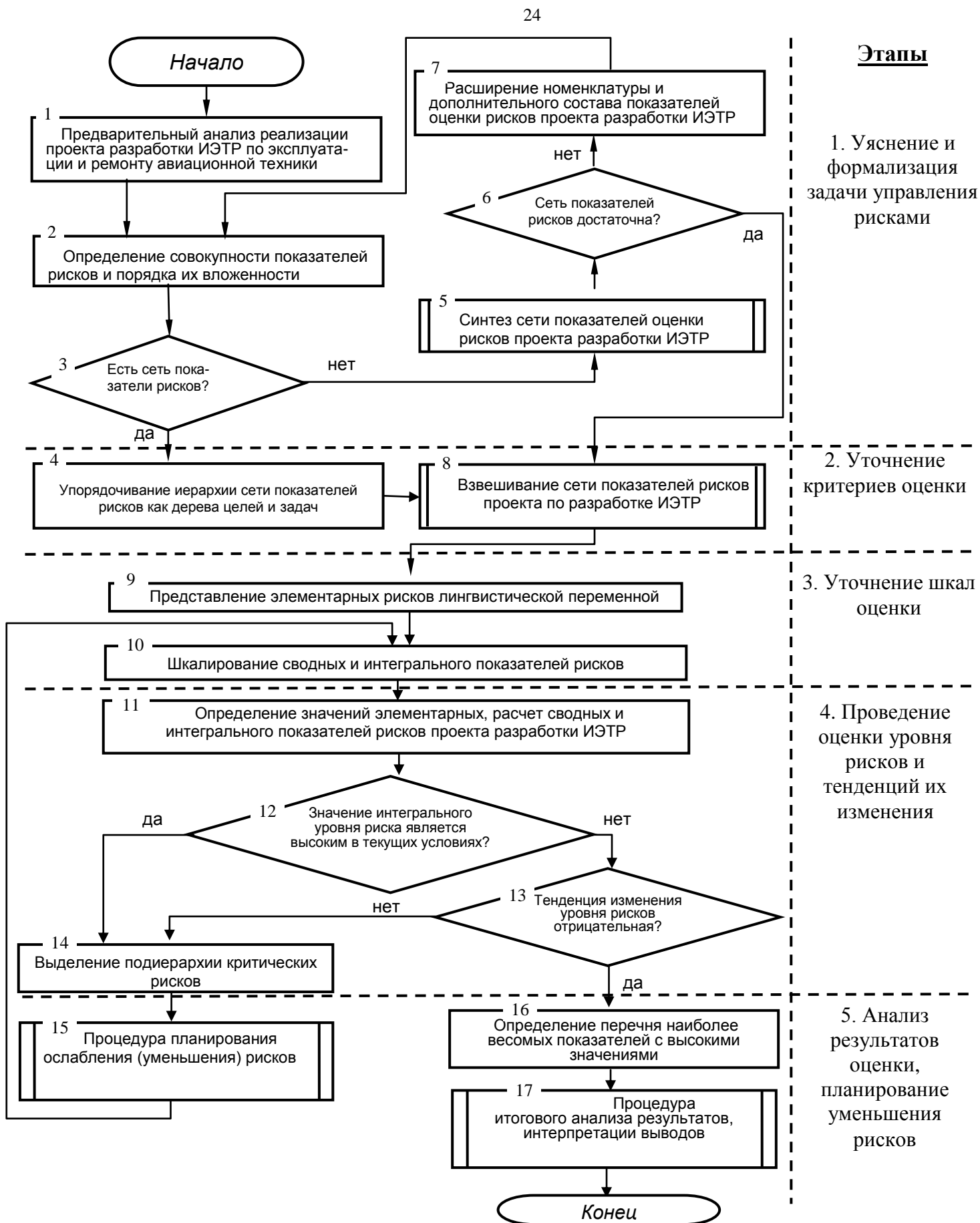


Рисунок 6 – Алгоритм управления рисками проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники

Противоречие предложенной в эксперименте игровой модели выражается в противопоставлении стремления технического эксплуатанта обеспечить гарантированную работоспособность авиатехники при минимальных затратах времени, материальных ресурсов и трудоемкости к случайному, иррациональному характеру возникновения неисправностей с обслуживаемой техникой. Неантагонистический характер такого противоречия заключен в неоднозначном характере противопоставления целей эксплуатанта случайности возникновения неисправностей в конкретном образце авиатехники («в природе»), неочевидности прямого урона сторон при затягивании или не рациональности процесса устранения неисправности в ходе технического обслуживания (ремонта).

Ценой игры V_{ij} является значение комплексного показателя

$$V_{ij} = \omega_1 S_i - \omega_2 W_j, \quad (11)$$

где ω_1, ω_2 – весовые коэффициенты, варьировавшиеся в ходе эксперимента согласно бинарных подмножеств множества

$$\left\{ (0.8; 0.2); (0.5; 0.5); (0.2; 0.8) \right\}; \quad (12)$$

S_i – оценка уровня качества технического обслуживания и текущего ремонта авиационной техники, т.е. качества процесса выявления, устранения или предупреждения неисправности (или отказа) прибора авиационной техники, т.е.:

$$S_i = y(q_{\text{важн.неиспр.}}); \quad (13)$$

W_{ji} – оценка ресурсоемкости, включая трудоемкость, выявления и устранения неисправности (или отказа) прибора авиационной техники, приведенная к шкале (0,100).

Для каждого из вариантов соотношений ϖ_1, ϖ_2 разработаны игровые (т.н. платежные) матрицы. Рассматриваемая игра – игра с полной информацией, которая имеет седловую точку. Найденная в седловой точке цена игры определяет оптимальный набор стратегий игроков в условиях полной неопределенности о действиях противоположной стороны:

$$V_{II1} = \min_j \max_i V_{ij} = \max_i \min_j V_{ij}, \quad (14)$$

Если Игрок 1 не вооружен такими методическими средствами информационно-логистической поддержки проводимых мероприятий технического обслуживания и ремонта авиационной техники, как ИЭТР, то его стратегия поведения в игре определяется фактом неопределенности в понимании действий «природы», которая выступает его противником и, по существу, его выбор носит случайный характер. В худшем случае это ведет к тому, что Игрок 1 выбирает в игре стратегию поведения для которой

$$V_{II1} = \min_i \min_j V_{ij}, \quad (14)$$

а Игрок 2 “сумеет” выбрать стратегию в игре, для которой

$$V_{II2} = \max_j \max_i V_{ij}. \quad (15)$$

Физический смысл такой ситуации заключается в том, что технический эксплуатант авиационной техники будет реализовывать малоэффективный, трудозатратный и ресурсоемкий план технического обслуживания и ремонта образца авиатехники при том, что предупреждаемая (диагностируемая) неисправность могла быть устранена значительно более быстрым и дешевым способом с максимальной эффективностью (т.е. в кратчайший срок, с минимальным расходом средств, с наименьшим привлечением сил специалистов, с высокой степенью достоверности полученной диагностической информации). Учитывая равную вероятность выбора Игроком 1 различных стратегий игры при отсутствии соответствующих средств ИЛП проводимых мероприятий технического обслуживания и ремонта авиационной

техники, как ИЭТР, определяется средний выигрыш для этого игрока при принятии решений, как

$$\bar{v}_{И1} = \frac{1}{nm} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n v_{ij}. \quad (16)$$

Выше приведенные рассуждения позволяют рассмотреть эффект Δ_v от использования таких средств ИЛП проводимых мероприятий технического обслуживания и ремонта авиационной техники, как ИЭТР, и определить его в виде соотношения

$$\Delta_v = v_{И1} - \bar{v}_{И1}, \quad (17)$$

т.е. это разница в цене рассматриваемого процесса обеспечения качества обслуживания авиационной техники как игры с использованием ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники и без него.

Для платежной матрицы, приведенной в работе в качестве примера, цена игры $v_1 = 58,4$ – при использовании разработанного в диссертации метода, а без его использования – $v_1 = 49,2$. Тогда эффект от использования разработанной совокупности методов равен $\Delta_v = 58,4 - 49,2 = 9,2$. Аналогичные значения Δ_v получены для остальных платежных матриц, рассмотренных в качестве различных вариантов учета важности оценок из (12).

Проведен анализ значимости полученных значений Δ_v , с использованием t -распределения Стьюдента для малых выборок из генеральной совокупности, по методике проверки статистической значимости получаемых значений эффекта от использования ИЭТР, которая является неотъемлемой частью разработанного метода. Расчеты подтвердили статистическую значимость полученных результатов.

В завершении 5 главы приведено описание хода, результатов экспериментальной апробации и оценки эффективности разработанных в диссертации положений, выносимых на защиту. Оценка эффективности выполнена в ходе вычислительного эксперимента, который реализован путем имитационного моделирования процедур обслуживания одной из подсистем типового прибора современного самолета (системы электропитания бортовой радиолокационной станции). Целью эксперимента было определение и численная оценка прироста качества некоторого класса ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники. Сводным показателем качества, по которому регистрировались изменения в ходе эксперимента была «результативность применения ИЭТР», а частными, её декомпозирующими, показателями стали составляющие, согласно интерпретации ГОСТ Р ИСО 9000-2015.

Эксперимент проведен по организационной схеме, включающей в себя следующие логические этапы:

1) выявление особенностей разработки современных ИЭТР, интегрированных в процессы технического обслуживания и ремонта, учет этих особенностей в имитационном моделировании процессов технического обслуживания и текущего ремонта такого сложного авиационного прибора как бортовая радиолокационная станция (РЛС) по двух альтернативным вариантам: первый – на основе традиционных форм ИЛП (т.е. с использованием традиционных форм эксплуатационной документации или ИЭТР 1 класса), вторая – на базе подходов к ИЛП процессов технического обслуживания и текущего ремонта авиатехники, реализуемого в рамках разработанного методологического аппарата;

2) выявление изменений контролируемых параметров результативности применения ИЭТР в технологическом процессе технического обслуживания и текущего ремонта рассматриваемого образца авиационной техники;

3) анализ результатов применения и сравнение итогов для разработанного методологического аппарата и традиционных подходов к ИЛП процессов технического обслуживания, текущего ремонта авиатехники.

В ходе эксперимента, в соответствии с принятой схемой, была проанализирована разработка интегрированных ИЭТР для поддержки технического обслуживания, диагностики и поиска неисправностей в бортовой РЛС типа «Гроза -154М2» (Носитель – Ту-154).

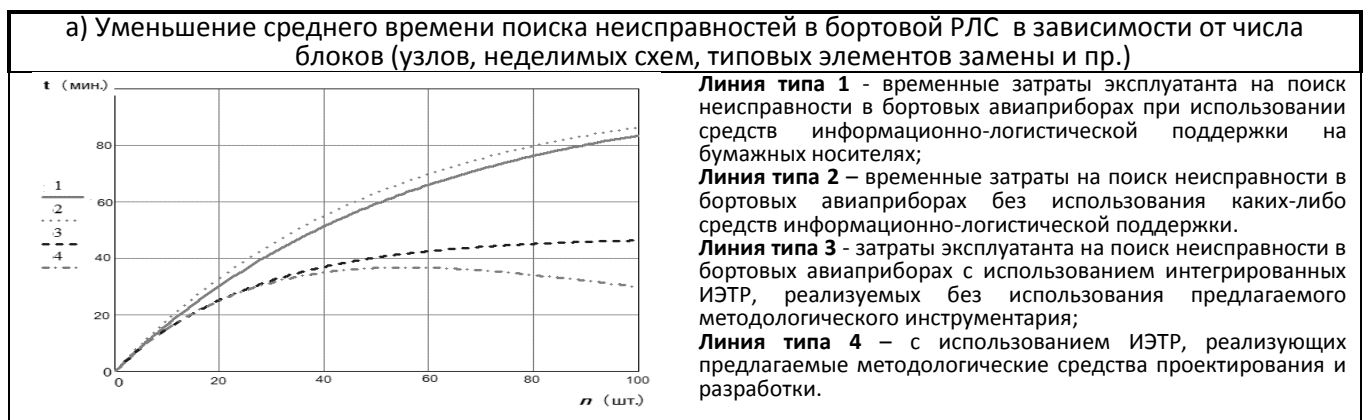
Учет специфики разработки и применения выше описанных ИЭТР позволил на базе языка и среды имитационного моделирования GPSS World, используемых для имитационного воспроизведения (реинжиниринга) технических, организационных, биологических и пр. систем, построить имитационную модель процесса технического обслуживания и текущего ремонта РЛС указанного типа. Результаты имитационного моделирования аналитически обрабатывались и интерпретировались в прикладной программной среде MathCAD 2000 Professional. При этом сама бортовая РЛС типа «Гроза – 154» была рассмотрена как система из $n = 100$ блоков, каждый из которых имеет свою вероятность возникновения неисправности и(или) отказа. В ходе эксперимента установление факта «исправен / неисправен» для каждого из блоков РЛС рассмотрено как разовое испытание по бинарной схеме Бернулли в варианте 2-х исходов. Соответственно, в рамках указанного рассмотрения для всего прибора (РЛС) случайная величина обнаружения r неисправностей в блоках РЛС при k проверках (мероприятиях технического обслуживания и ремонта) распределена по биномиальному закону.

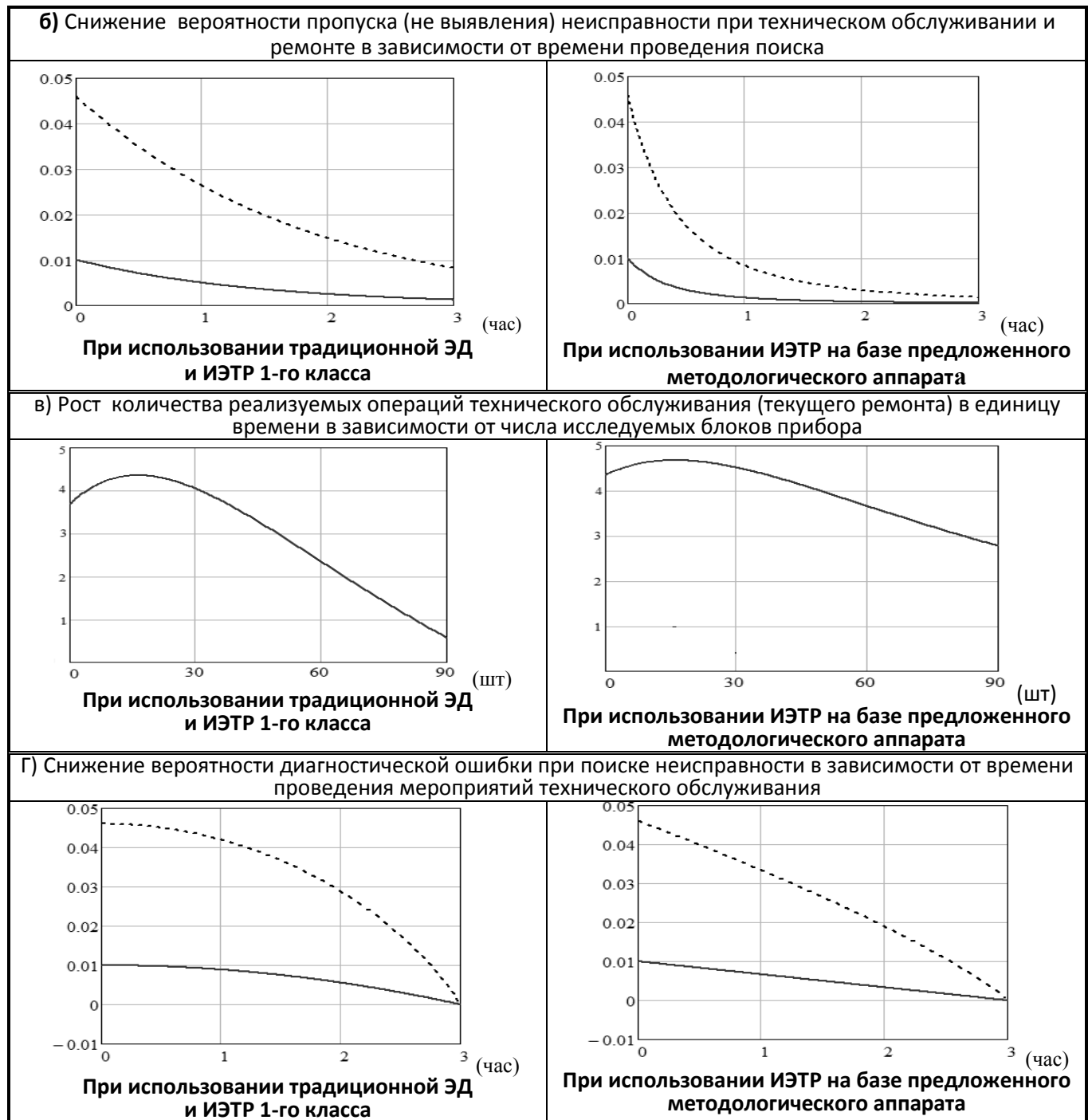
На базе выше указанного представления имитационной модели технического обслуживания, текущего ремонта бортовой РЛС и приведенной в работе интерпретации составляющих результативности, а также полученных данных оценки по ним итогов моделирования, как соответствующих значений показателей эффективности средств управления качеством ИЭТР, в рамках эксперимента удалось получить следующие результаты, обобщенные в таблице 3. Некоторые показатели эффективности носят композиционный характер и были проанализированы качественно, путем экспертизы.

Обобщение результатов оценки эффективности разработанного методологического аппарата на качественно-количественном уровне позволило перейти к выводу, что его практическое внедрение дает возможность добиться улучшения качества ИЭТР по техническому обслуживанию и текущему ремонту авиационной техники, за счет повышения результативности их применения.

В заключении даны итоговые формулировки 7 научных положений, выносимых на защиту, обоснованы перспективные, по мнению автора, направления дальнейших научных исследований в сфере управления качеством средств ИЛП процессов эксплуатации и текущего ремонта авиационной техники.

Таблица 3 – Обобщенные результаты моделирования процессов эксплуатации авиационной техники с использованием ИЭТР





III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная исследовательская работа, представляемая на соискание ученой степени доктора технических наук, направлена на решение значимой научной проблемы улучшение качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники, за счет преодоления эмпирического характера их разработки, путем последовательно-итеративного квалиметрического оценивания, анализа рисков развития и совершенствования. В данной диссертации поставлены и разрешены задачи исследования, как указано ниже:

1. Сформирована научно-методическая концепция менеджмента качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники, которая обеспечивает методологический базис для: повышения результативности средств ИЛП процессов технического обслуживания авиационной техники; улучшения качества соответствующего класса интерактивных электронных технических руководств.

2. Предложен метод логических схем предметного контента для обеспечения качества разрабатываемых ИЭТР, позволяющий проектировать и управлять качеством содержания указанных средств логистической поддержки на информационно-логическом уровне. Это дает возможность добиться рационального и целесообразного характера построения ИЭТР, релевантности представления в них данных предметной области.

3. Разработан метод многоуровневой оценки качества ИЭТР для авиационной техники, базирующийся на использовании математического аппарата мягких вычислений для обработки первичных квалиметрических данных, получаемых от экспертов, и дающий возможность делать заключения о достигнутом уровне качества создаваемого ИЭТР по эксплуатации и текущему ремонту авиационной техники, определять аномалии в разработке этого вида средств информационно-логистической поддержки.

4. Разработан метод выявления аномалий качества ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники, направленный на формализованное, за счет специализированного граф-представления предметного контента, выявление логических ошибок в построении указанных средств ИЛП, определение шагов по их устранению.

5. Разработан метод оценки рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники. Он позволяет быстро и высокоэффективно оценивать риски реализации программно-технологических проектов по созданию ИЭТР для поддержки эксплуатации и ремонта авиационной техники, осуществлять управление указанными рисками за счет полноценной имплементации методов риск-менеджмента в технологическую сферу создания ИЭТР.

6. Разработан метод уменьшения рисков проектов по разработке ИЭТР для эксплуатации и ремонта авиационной техники, позволяющий обосновывать рациональный план мероприятий по снижению (ослаблению) рисков проектов создания ИЭТР, по результатам их предварительной оценки, за счет экспликации методов аналитического планирования на предметную область разработки средств ИЛП.

7. Предложен обобщающий метод оценки динамики качества обслуживания авиационной техники за счет использования ИЭТР, позволяющий оценить эффект от применения интерактивных электронных технических руководств в процессе технического обслуживания и текущего ремонта образцов (приборов) авиационной техники, за счет представления указанного процесса в виде «игры с природой» и применения соответствующего математического аппарата теории игр.

Осуществлена разработка и внедрение в систему менеджмента качества предприятия-разработчика ИЭТР для сопровождения процессов эксплуатации сложных технических систем и приборов группы стандартов по реализации процедур повышения результативности, улучшения качества создаваемых средств ИЛП.

Проведена всесторонняя апробация предлагаемой научно-методической концепции, методологического аппарата при разработке и создании соответствующего программного и информационного обеспечения средств логистической поддержки как в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, ряде предприятий софтверной сферы деятельности, специализирующихся на разработке ИЭТР, так и в ходе научно-педагогической деятельности по подготовке магистров и бакалавров, реализуемой автором в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». Применение разработанных методов позволили повысить обоснованность, целеобусловленность и рациональность технических решений, принимаемых в ходе разработки и создания ИЭТР по эксплуатации и ремонту авиационной техники, а, в конечном итоге, добиться нового уровня развития средств ИЛП систем технического обслуживания и текущего ремонта указанного вида техники.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. Фролова, Е.А. Оценка рисков проектов по разработке интерактивных электронных технических руководств для авиационной техники / Е.А. Фролова // Известия Тульского государственного университета. 2019. №1. 55-66.
2. Фролова, Е.А. Метод оценки динамики качества обслуживания авиационной техники / Е.А. Фролова // Известия Тульского государственного университета. 2019. №2. 34-41.
3. Фролова, Е.А. Метод уменьшения рисков проектов по разработке интерактивных электронных технических руководств для эксплуатации и ремонта авиационной техники / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова // Современные наукоемкие технологии. 2018. №12. С. 349-356.
4. Фролова, Е.А. Метод выявления аномалий качества интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники/ Е.А. Фролова, Я.А. Ивакин, А.О. Смирнов // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т.19 №4. С. 613-623.
5. Фролова, Е.А. Многоуровневая оценка качества интерактивных электронных технических руководств для авиационной техники / Е.А. Фролова // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т.19 №4. С. 605-612.
6. Фролова, Е.А. Метод логических схем предметного контента для обеспечения качества разрабатываемых интерактивных электронных технических руководств / Ивакин Я.А., Фролова Е.А., Тушавин В.А., Смирнова М.С. // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 10. С. 66-74.
7. Фролова, Е.А. Научно-методическая концепция менеджмента качества интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники / Я.А. Ивакин, Е.А. Фролова, А.Г. Варжапетян, В.М. Балашов // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 10. С. 58-65.
8. Фролова, Е.А. Управление качеством интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники на всех этапах жизненного цикла / Е.А. Фролова, Я.А. Ивакин, К.В. Балашова, М.С. Смирнова, Б.В. Титков // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 1. С. 73-81.
9. Фролова, Е.А. Концепция реализации комбинированного подхода к превентивному управлению рисками промышленного предприятия / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова, А.В. Курлов, С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 10. С. 20-26.
10. Фролова, Е.А. Документирование электронного образовательного ресурса / Е.А. Фролова, Я.А. Ивакин, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 5. С. 55-57.
11. Фролова, Е.А. Картирование потоков создания ценности на этапах жизненного цикла продукции / Е.А. Фролова, В.С. Чмыхин, А.С. Коновалов, С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 1. С. 73-77.
12. Фролова, Е.А. Идентификация технологических процессов производства сложных технических систем в условиях неопределенности / Е.А. Фролова // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиолокационная техника, вып.2, М.: 2011, С. 153-158.
13. Фролова, Е.А. Оценка уровня качества сложных технических систем на этапе разработки / Е.А. Фролова // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общая техническая, вып.3, М.: 2011, С. 173-178.
14. Фролова, Е.А. Критерии обеспечения качества устройств бортовых комплексов / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова // ГУАП., 2004. Деп. в ВИНТИ 12.02.2004, №243-В2004. 17 с.
15. Фролова, Е.А. Многоуровневое представление бортовых комплексов в задаче обеспечения качества / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова // ГУАП., 2004. Деп. в ВИНТИ 12.02.2004, №242-В2004. 8 с.
16. Фролова, Е.А. Структурирование требований к показателям функционирования бортовых комплексов / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова, Ю.М. Смирнов // ГУАП., 2004. Деп. в ВИНТИ 12.02.2004, №244-В2004. 9 с.

Монография

17. Фролова, Е.А. Управление качеством электронных руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники: монография / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова – СПб.: ГУАП, 2018. 273 с

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в системы цитирования Web of Science и Scopus

18. Frolova, E.A. Risk management of interactive electronic technical manual design projects / E.A. Frolova, A.G. Varzhapetyan, V.A. Lipatnikov, S.V. Michurin, // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 450 (2018) 052016.
19. Frolova, E.A. Models for formation and choice of variants for organizing digital electronics manufacturing / E.A. Frolova, G.I. Korshunov, S.L. Poljakov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 022063.
20. Frolova, E.A. Application of singular matrix beams in the symmetrical problem of definition of eigenvalues / Fomina A., Semenova E., Ivakin Y., Frolova E., Smirnova M. // Journal of Applied Engineering Science. 2018. Т. 16. № 2. pp. 281-291.
21. Frolova, E.A. Comparison of qualitative assessments of employees work by randomized indicators / E.A. Frolova, V.A. Tushavin, E.G. Semenova, M.S. Smirnova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Т. 10. № 16. pp. 7280-7287.

Статьи и материалы конференций

22. Фролова, Е.А. Методы оценки и уменьшения рисков проектов по разработке интерактивных электронных технических руководств для авиационной техники / Е.Г. Семенова, Е.А. Фролова, М.С. Смирнова // В сб. материалов национальной научно-практической конференции «Фундаментальные основы разработки и производства наукоемкой продукции» St . Louis , Missouri , USA : Science and Innovation Center Publishing House . – 2019. С. 25-28.
23. Фролова, Е.А. Управление рисками проектов по разработке интерактивных электронных технических руководств для эксплуатации и ремонта авиационной техники / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова // XV Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». Сб. докл. Тольятти. 2019. С. 137-139.
24. Frolova, E.A. Quality interactive electronic technical manuals / E.A. Frolova // XXIV-th International Open Science Conference «Modern informatization problems in simulation and social technologies» (MIP2019'SCT). 2019. pp. 168-171.
25. Фролова, Е.А. Менеджмент качества интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова, Я.А. Ивакин // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем. Сб. докл. ГУАП. 2018. С. 137-152.
26. Фролова, Е.А. Синтез логических схем предметного контента эксплуатации и ремонта авиационной техники / Е.А. Фролова, Я.А. Ивакин // Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018). Сб. ст. I Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета. 2018.С. 224-227.
27. Фролова, Е.А. Модель аномалии качества интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники / Е.А. Фролова, Я.А. Ивакин // Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018). Сб.ст. I Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета. 2018. С. 227-229.
28. Фролова, Е.А. Особенности применения риск-менеджмента в рамках системы менеджмента качества предприятия радиоэлектронной промышленности / Е.А. Фролова, А.Я. Щур // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем. Сб. докл. ГУАП. 2017. С. 123-129.

29. Frolova, E.A. Assessment of the usage efficiency of vector commands of modern processors within processing the problems of discrete optimization in the microsoft excel software / E.A. Frolova // High-Performance And Fault-Tolerant Computing technologies and systems Proceedings of the International scientific and practical conference. 2016. С. 65-70.
30. Фролова, Е.А. Формальное представление показателей качества управления пространственными процессами / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова, С.В. Мичурин // Conditions alternative to the development of modern economic systems management, innovation. Proceedings of the International scientific and practical conference. Editor in Chief Dr. Sci., Prof. Chebykina M.V. 2016. С. 182-192.
31. Фролова, Е.А. Специализированные модели системы хранения данных на базе избыточных дисковых массивов / Е.А. Фролова, П.А. Рахман // Reliability models in engineering and technical science-2015 Proceedings of the International scientific and practical conference. 2015. С. 77-86.
32. Фролова, Е.А. Методы кластеризации в задачах оценки состояний технологических объектов в условиях неопределенности / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды Четырнадцатой Всероссийской научно-практической конференции РАН. Т.2. Технические средства противодействия терроризму. 2011. С. 300-305.
33. Фролова, Е.А. Анализ методов прогнозирования показателей качества сложных технических систем / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова // Сборник материалов десятой Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством», М.: МАТИ, 2011, С. 266-268.
34. Фролова, Е.А. Методы построения иерархической структуры показателей качества сложных технических систем / Е.А. Фролова // Научная сессия ГУАП: Сб. докл.: В 3 ч. Ч. 1. Технические науки / СПб.: ГУАП, 2011. С. 185-188.
35. Фролова, Е.А. Оптимизация параметров систем на базе методов робастного проектирования / Е.А. Фролова // Радиотехника, электротехника и энергетика.- М., МЭИ, 2004, С. 446-447.
36. Frolova, E.A. Rating of qualitative alternatives at designing technical systems // E.A. Frolova // International Conference – Instrumentation in Ecology and Human Safety (IEHS)/ St.Peterburg, 2004, P. 48-50.
37. Фролова, Е.А. Управление качеством технических систем на базе методов робастного проектирования / Е.А. Фролова // Управление качеством: проблемы, исследование, опыт: Сб. науч. тр. Вып. 3 – СПб.:СПБИЭУ, 2004, С. 233-239.
38. Frolova, E.A. Maintenance of quality of systems on the basis of the statistical analysis of parameters / E.A. Frolova, E.G. Semenova // International Conference – Instrumentation in Ecology and Human Safety (IEHS)/ St.Peterburg, 2002, P. 62-63.

Научно-исследовательские работы

39. Фролова, Е.А. Выполнение составной части научно-исследовательской работы «Комплексный анализ и разработка инструментария реализации целей и задач подпрограммы «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на период до 2025 года: отчет о НИР / ГУАП: рук. А.Ю. Гулевитский; №216030120070. 2015. 960 с.
40. Фролова, Е.А. Исследование и разработка методов и инструментов управления качеством проектов: отчет о НИР / ГУАП: рук. А.Г. Варжапетян; №02201258800. СПб., 2011. 59 с.