

**На правах рукописи**



**МИЧУРИН Сергей Владимирович**

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ  
ПРОЦЕССОВ НА АВИАТРАНСПОРТЕ**

**Специальность:**

**05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции**

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

**Санкт-Петербург – 2016**

- Работа выполнена:** В Федеральном государственном автономном образовательном учреждении 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:** **Ефимов Владимир Васильевич**  
доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора – директор по научной работе ОАО «Авангард»
- Алёшкин Андрей Петрович**  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры антенно-фидерных, передающих устройств и средств СЕВ ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского»
- Гродзенский Сергей Яковлевич**  
доктор технических наук, профессор, профессор «Метрология и стандартизация» ФГБОУ ВО «Московский технологический университет»
- Ведущая организация:** АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», 197372, Санкт-Петербург, Новосельковская, 37

Защита состоится «23» декабря 2016 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.

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 «17» октября 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.233.04  
канд. техн. наук, доцент



Фролова Е.А.

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Разработка программных комплексов (ПК) для автоматизированных систем диспетчеризации пространственными процессами (АСДПП) на авиатранспорте представляет собой сложный и наукоемкий вид деятельности, связанный с необходимостью моделирования не только пространственных процессов, как таковых, но и смежных подсистем мониторинга, сопутствующих гидрометеорологических, физических и пр. процессов. Бурное развитие сферы авиасообщений, интенсивности и плотности полетов, а также современных технологий и возможностей вычислительной техники предопределило внедрение в их состав средств и методов ситуационного управления (СУ). Одной из основных особенностей построения современных автоматизированных систем управления пространственными процессами на авиатранспорте является возрастание той части задач, в которых принятие предметных решений в тех или иных видах ситуаций возлагается на средства прикладного программного обеспечения. Именно этот факт диктует необходимость разработки целостного теоретического аппарата (научно-обоснованных методологических основ и технологических решений) улучшения качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

Однако стремительное развитие современной экономики, интенсивный рост транспортных потоков и других сопутствующих пространственных процессов, изменение физических принципов функционирования средств мониторинга, опережающий рост потребности в автоматизации различных диспетчерских пунктов приводят к эмпирическому характеру внедрения принципов и средств СУ, используемых при построении автоматизированных систем управления пространственными процессами на авиатранспорте.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью разрешения объективного противоречия между существующей потребностью в улучшении качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте на основе целостного научно-методологического аппарата и эмпирическим характером этого процесса в текущий момент.

Актуальность проведенного исследования подтверждается также его соответствием научным направлениям, входящим в Перечень критических технологий Российской Федерации: Технологии информационных, управляющих навигационных систем; Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта.

**Степень разработанности темы исследования,** направленного на развитие квалиметрического аппарата улучшения качества и повышения результативности ПК АСДПП определяют результаты научных работ ведущих отечественных и зарубежных ученых в области квалиметрии программного обеспечения, ситуационного управления и автоматизации диспетчеризации пространственных процессов.

Методологической основой для детальной разработки темы явились результаты исследований следующих научных направлений:

– квалиметрия на основе анализа системных показателей качества, реализованная в работах Г.Г. Азгальдова, Э.П. Райхмана, А.В. Гличева, В.П. Панова, А.Г. Варжапетяна, Е.Г. Семеновой, Д. Коудена, Х.Й. Миттага, Х. Ринне, Н.Н. Рожкова, Г.И. Коршунова и др. На основе результатов исследований данного направления в работе определены методологические принципы и подходы к разработке предлагаемых методов, как научных результатов;

– совершенствование логико-математических моделей оценки результативности и качества сложных программных систем, разработанное в научных исследованиях Т. ДеМарко, Б. Боэма, М. Джилба, Т. Саати, К. Кернса, В.В. Липаева, Я.А. Ивакина, Н.В. Хованова, Р.М. Юсупова, Б.В. Соколова, В.В. Поповича и др. Результаты данного направления позволили обосновать единую унифицированную меру и методический инструментарий оценки качества и результативности ПК АСДПП;

– методы ситуационного управления (менеджмента) пространственными процессами на базе моделирования ситуаций, предложенные в работах Д.А. Поспелова, Г.С. Осипова, В.Ф. Хорошевского, А.И. Эриха, Г. Джекобсона, Д. Буффорда, Л. Льюиса и др. На их основе предложены корректные модели, позволившие рассмотреть разработку программных комплексов для АСДПП как процесс моделирования и анализа ситуаций в предметной области.

**Целью работы.** Цель диссертационной работы заключается в улучшении качества программных комплексов АСДПП на авиатранспорте на основе разработки концепции и научно-методического инструментария повышения их результативности, использующих принципы ситуационного управления.

**Объект исследования** – качество программных комплексов автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте.

**Предмет исследования** – повышение результативности программных комплексов автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте на основе принципов ситуационного управления.

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

1. Обоснование и синтез научно-методической концепции улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного управления;

2. Разработка метода анализа качества протекания авиационного пространственного процесса;

3. Разработка метода комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте;

4. Уточнение критериальной базы и разработка метода оценки качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

5. Разработка метода репрезентации вербальных оценок показателей качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

6. Обоснование и разработка методов повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода и улучшения экономичности их разработки.

**Методы исследований.** Для решения задач диссертационного исследования использованы методы ситуационного менеджмента, экспертного оценивания, системно-информационного анализа, объектно-ориентированного подхода к разработке программных комплексов, теории вероятностей и оценки случайных величин, различные методы построения сводных показателей, а также квалиметрические методы анализа сложных программ.

**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»; 9. «Научные основы автоматизированных комплексных систем управления эффективностью производства и качеством работ» паспорта специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции».

**Основные положения и результаты, выносимые на защиту:**

1. Научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента;

2. Метод анализа качества протекания авиационного пространственного процесса;

3. Метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте;

4. Метод оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

5. Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

6. Метод повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода;

7. Метод улучшения экономичности разработки ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

**Научной новизной** обладают следующие научные результаты:

1. Научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента позволяет развить методический аппарат совершенствования программных комплексов диспетчеризации путем

обобщения методов повышения их результативности на основе принципов ситуационного управления.

2. Метод анализа качества протекания авиационного пространственного процесса обеспечивает качественно новый уровень этого анализа за счет дополнения его научно-методического аппарата инструментарием создания сценариев типовых пространственных процессов диспетчеризации.

3. Метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте обеспечивает получение необходимой и качественной оценки уровня взаимной безопасности таких процессов на основе комплексного анализа пространственной ситуации.

4. Метод оценки качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте впервые позволяет вывести на более высокий уровень возможности квалиметрической оценки этих ПК за счет того, что совокупность показателей оценки конкретных вариантов их программных реализаций организуется в иерархическую структуру.

5. Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте позволяет перейти на более высокий уровень объективности путем использования математического аппарата лингвистических переменных и нечетких множеств.

6. Метод повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода обеспечивает улучшение показателей надежности указанных комплексов за счет повышения уровня агрегирования их верифицированных компонентов программного кода.

7. Метод улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте позволяет добиться снижения итеративности технологии создания этих ПК за счет системного накопления и корректного повторного использования баз готовых программных компонент.

**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 на предприятиях-разработчиках программного обеспечения (ПО) для АСДПП.

**Практическая значимость** для полученных научных результатов состоит в:

- оснащении технологий проектирования, создания ПК АСДПП и процедур улучшения их качества инструментарием корректного использования методов повышения результативности на основе принципов ситуационного управления;
- совершенствовании аналитических методов оценки и анализа квалиметрических показателей, составляющих результативность ПК АСДПП, определения путей улучшения качества этих комплексов;

- расширении возможностей по снижению итеративности выработки проектных решений при разработке программного обеспечения АСДПП;
- предложении комплексного методологического аппарата, позволяющего значительно усовершенствовать процесс оценки и системного улучшения качества ПК АСДПП;
- внедрении в практику создания ПК АСДПП научно-методических средств, основанных на принципах ситуационного управления и позволяющих обеспечить рационализацию усилий разработчиков соответствующего ПО;
- уменьшении трудозатрат на разработку ПК АСДПП на авиатранспорте (среднего времени разработки и отладки программного модуля реализации типовой прикладной функции на 14 -16%);
- уменьшении трудозатрат на сопровождение (среднего времени перекомпоновки и верификации типового программного модуля на 5-11%).

Разработана линейка типовых стандартов организации «Оценка и процедуры улучшения качества программной продукции для автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на транспорте», «Процедуры повышения результативности программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте», регламентирующих правила и процедуры улучшения качества соответствующих программных 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 ЗАО «СПИИРАН-НТБВТ» (г. Санкт-Петербург) в 2016 году.

**Личный вклад автора** состоит в непосредственной разработке совокупности методологических средств повышения результативности и улучшения качества ПК АСДПП на авиатранспорте, прикладных методов оценки и совершенствования отдельных показателей.

Автором также самостоятельно разработаны программные средства автоматизации предлагаемого научно-методического аппарата и методики их использования, указанная выше линейка типовых стандартов 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 внедрены при разработке и эксплуатации программных комплексов АСДПП на авиатранспорте в АО «Всероссийский НИИ радиоаппаратуры», ОАО «Авангард», АО «ЦНИИ «Электроника», АО «РИРВ», АО «МНИРТИ», АО «НПП «Радар ммс»; в ФГБУН Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН; в образовательный процесс ФГАОУ ВО «Государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Результаты исследования в 2015 г. удостоены Премии Правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся достижения в области высшего и среднего

профессионального образования в номинации «Организационные решения по повышению качества подготовки специалистов».

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 3 международных, 2 общероссийских, 1 межвузовских научных конференциях.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 38 работ, из них: 11- без соавторов, в том числе 11 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, 5 статей и 9 докладов в других изданиях.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 127 наименования, и четырех приложений. Основной текст диссертации представлен на 334 страницах, включая 35 таблиц и 72 рисунка. Общий объем диссертационной работы с учетом приложений составляет 413 страниц.

## II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы его цель и основные задачи, определены объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, выдвинуты основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации и внедрении результатов работы, а также обоснованы методы, применяемые в дальнейшем исследовании.

**Первая глава** - «Анализ качества современных систем и программных технологий ситуационного управления, применяемых при диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте. Обоснование проблемы и постановка задач исследования» - посвящена анализу предметной области с позиций требований к качеству и результативности программных комплексов автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте с учетом степени внедрения в их структуру элементов ситуационного управления.

Определены общие принципы построения АСДПП на авиатранспорте и их ПК, основные методы и способы оценки, контроля и улучшения их качества и результативности. Установлено, что АСДПП являются классом автоматизированных систем управления, имеющим ряд отличительных признаков, основным из которых следует считать наличие совокупности активных объектов, управление которыми осуществляется в ходе диспетчерской деятельности.

На основе выявленных отличительных признаков построена обобщенная типовая структура АСДПП (рисунок 1).





Рисунок 1 - Обобщенная типовая структура АСДПП

Проанализированы направления и первичные результаты использования систем и технологий ситуационного управления при диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте. Показана связь между повышением результативности и улучшением качества ПК АСДПП на авиатранспорте на основе принципов СУ.

Результаты анализа взглядов на понятие «качество ПК СУ АСДПП авиатранспортом» позволил установить, что эффективное улучшение качества указанных комплексов предполагает реалистичный баланс между целями обеспечения высокой результативности диспетчеризации и целями технологического процесса разработки программного обеспечения (ПО). Повышение результативности применительно к ПО, моделирующему процессы управления пространственными явлениями, событиями и подвижными объектами, базируется на использовании соответствующих квалиметрических методов оценки, анализа и совершенствования этого вида обеспечения.

В современных условиях разработка качество ПК СУ АСДПП авиатранспортом осуществляется в рамках традиционных процедур менеджмента качества. Однако, конкретизированный выбор инструментов контроля и улучшения качества указанных ПК, детальных процедур обеспечения требуемого уровня результативности ситуационного управления определяется как программно-технологическими парадигмами разработки ПК СУ для АСДПП авиатранспорта, так и базовыми научными методами, и моделями ситуационного управления, положенные в основу этих программных комплексов. В таблице 1 показано соответствие, определяющие комбинаторное влияние научных методов и подходов ситуационного управления на использование соответствующих нормативно-методических средств менеджмента качества, средств повышения результативности.

Таблица 1 – Соответствие научных методов и моделей СУ видам программных технологий реализации и используемых для менеджмента их качества нормативно-методических средств

Базовые научные методологии, методы и модели ситуационного управления, положенные в основу ПК ситуационного управления	Программные технологические парадигмы разработки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспорта	Основные акты по управлению качеством (нормативно-технического регулирования) используемые при проектировании, разработке, комплексировании ПК ситуационного управления авиатранспортом
1. Ситуационный менеджмент (Г. Джекобсон, Л. Льюис и др.), Ситуационное управление (Д.А. Пospelов, Г.С. Осипов и др.)	Системы символьных рассуждений: системы, основанные на знаниях, экспертные системы.	ГОСТ 28806 -90 ГОСТ 15971-90 ГОСТ 34.201-89 ГОСТ 34.601-90 ГОСТ Р ИСО 9001-2015
2. Методы ситуационной семантики (М.К. Смит, М. Парвис, Р.М. Юсупов и др.)	Распределенные сетевые системы гибридного интеллекта.	ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 ГОСТ Р 51904-2002 ГОСТ 2.601-95
3. Методология интеграции и слияния информации в интересах анализа, моделирования и разрешения ситуаций; Ситуационные вычисления (Ф. Пирри, Р. Рейтер и др.)	Программные системы многоуровневой интеллектуальной обработки и слияния информации	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
4. Методы сетцентрического представления и управления (Д. Буффорт, М. Братман, В.И. Городецкий, О.В. Карсаев и др.)	Мультиагентные системы и методы анализа, моделирования ситуаций	ГОСТ 28806 -90 ГОСТ Р ИСО 9000-2015 ГОСТ Р ИСО 27000-2015 ГОСТ Р ИСО 9001-2015
5. Методология когнитивных языков моделирования ситуаций (М. Виссман, Н. Бремер, А.Л. Ронжин и др.)	Нейросетевые решения, системы распознавания ситуаций на нейронных сетях, нейрокомпьютеры.	ГОСТ 34.201-89 ГОСТ 34.601-90 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 ГОСТ Р ИСО 25010 -2015
6. Подход к представлению ситуаций основанный на онтологиях предметных областей (М.М. Кокар, С Лафонд В.В. Попович, К. Клараунт и др.)	Интегрированные системы искусственной интеллектуальности с многомодальными интерфейсами	ГОСТ 15971-90 ГОСТ 34.201-89 ГОСТ 34.601-90 ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010 ГОСТ Р ИСО 9001-2015

Повышение результативности СУ следует рассматривать как базовый фактор улучшения качества ПК АСДПП, что диктуется экспоненциальным ростом интеллектуально-управленческой нагрузки на диспетчеров. Методами такого повышения выступают методы последовательного квалиметрического оценивания, анализа и совершенствования соответствующего ПО в процессе его разработки: от логико-математической постановки до внедрения в эксплуатацию. Содержание таблицы 1 наглядно показывает уровень обеспеченности базового технологического процесса создания ПК СУ для АСДПП авиатранспортом нормативно-методическим инструментарием обеспечения результативности и менеджмента качества. Из нее видно, что основная линейка стандартов, регламентирующих создание и обеспечение качества программных и информационных средств (продуктов), таких как:

семейство международных стандартов серии SQueaRI (Software Quality Requirement and Evaluation) и их отечественные аналоги: ГОСТ Р ИСО 25010-2015, ГОСТ Р ИСО 27000-2015 и пр. не учитывают специфики функционирования программных комплексов реализующих принципы ситуационного управления. Процедуры обеспечения качества, описанные в выше приведенной нормативной базе, не делают различия между технологическими процессами разработки программных средств на традиционных логико-математических, жестко алгоритмических моделях объекта управления, и программных комплексов ситуационного управления, реализующих адаптивные, «до обучаемые» модели искусственной интеллектуальности.

Невозможно учесть такую специфику и при организации технологического процесса создания ПК СУ для АСДПП авиатранспортом, опираясь исключительно на новейшие нормативные документы менеджмента качества, такие как: ГОСТ Р ИСО 9000 – 2015 (аналог ISO 9000-2015) и ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015 (аналог ISO 9001-2015), введенные в действие 01 ноября 2015 года, утверждены в Росстандарте 28 сентября 2015 года, по той же причине отсутствия учета специфики реализуемых моделей ситуационного управления и не включения вопросов более высокой сложности в программно-информационном представлении объектов предметной области.

В работе обоснован вывод о наличии объективной, но не нашедшей удовлетворения потребности в разработке нормативно-технической базы (семейства стандартов), регламентирующих разработку именно программного обеспечения для ПК СУ пространственными процессами авиатранспорта, а также соответствующих научно-методологических основ. Именно такая нормативно-техническая база позволит обеспечить устойчивый рост результативности ситуационного управления пространственными процессами авиатранспорта и улучшение качества соответствующих ПК для АСДПП.

На основе изложенного выше констатируется, что единой, взаимосвязанной теории оценки и улучшения качества, повышения результативности ПК СУ для АСДПП авиатранспортом пока не существует. Имеющиеся теоретические и практические наработки, способные составить основу названных теории и методов, не структурированы, формулируются по междисциплинарному принципу и во многом носят не системный характер. Следовательно, на сегодняшний день имеет место эмпирический путь развития прикладных способов, технологий и нормативно-технических средств квалиметрического оценивания и совершенствования ПК СУ для АСДПП авиатранспортом.

**Вторая глава** - «Методологические основы улучшения качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте» - содержит основные положения научно-методической концепции улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента (*Положение 1*), включающие: 1) Нормативно-технические требования к составу и

возможностям АСДПП авиатранспортом и их ПК СУ; 2) Модель контура управления в понятийном базисе СУ, реализуемую АСДПП авиатранспортом; 3) Обобщающую схему улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента.

Диспетчерская деятельность в рамках концепции рассмотрена как процесс выявления нештатных (нестандартных) ситуаций в протекании всей совокупности диспетчеризируемых пространственных процессов. Под штатной (стандартной) ситуацией понимается ситуация соответствующая установленному регламенту протекания пространственных процессов, а под нештатной (нестандартной) – не соответствующая. Целью диспетчерской деятельности является своевременное выявление и предотвращение нештатных (нестандартных) ситуаций (либо их наступивших последствий), на совокупности контролируемых пространственных процессов. Совокупность контролируемых пространственных процессов может быть ограничена в пространстве, времени или по номенклатуре контролируемых объектов.

Установлено, что традиционный подход к анализу безаварийности воздушных судов сводится к определению безопасной дистанции сближения с каждым из судов (оно определяется в зависимости от скорости, высоты и дальности полета). Существо работы современных ПК АСДПП авиационного транспорта заключается в непрерывном анализе и прогнозировании дистанций расхождения воздушных судов относительно друг друга, а также иных опасных препятствий, которые должны превышать безопасную дистанцию сближения. Факт прогнозирования ситуации расхождения судов на дистанции менее безопасной дистанции сближения является фактом выявления опасности, аварийной ситуации. В таком случае диспетчер обязан вмешаться своим управляющим воздействием и добиться наращивания дистанции расхождения судов до безопасной дистанции сближения. При этом необходимые расчеты и рекомендации он вырабатывает так же с использованием функционала ПК АСДПП воздушным транспортом.

Современный уровень вооруженности авиадиспетчеров средствами оперативного анализа и поддержки принятия решений недостаточен. Это выражается, прежде всего, в том факте, что диспетчер, разрешая одну текущую аварийную ситуацию, уже обязан вырабатывать свои управляющие воздействия с учетом недопущения усугубления последующей пространственной ситуации.

Именно с учетом этого факта в исследовании сделан вывод о необходимости реализации контура управления в АСДПП авиатранспортом на принципах и в категориях СУ. Модель такого контура последовательно синтезирована на основе базовых положений ситуационного менеджмента и приведена на рисунке 2.

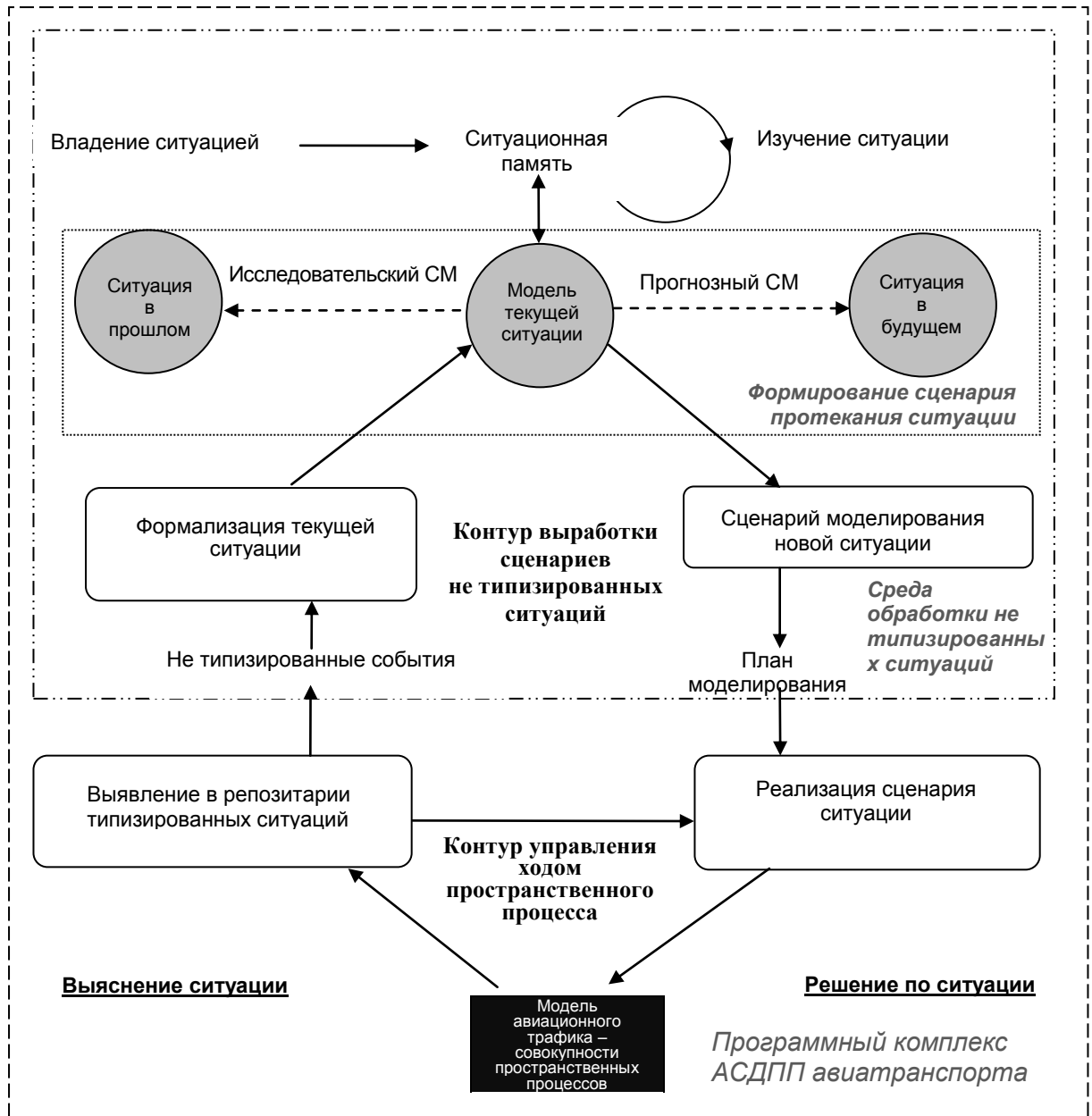
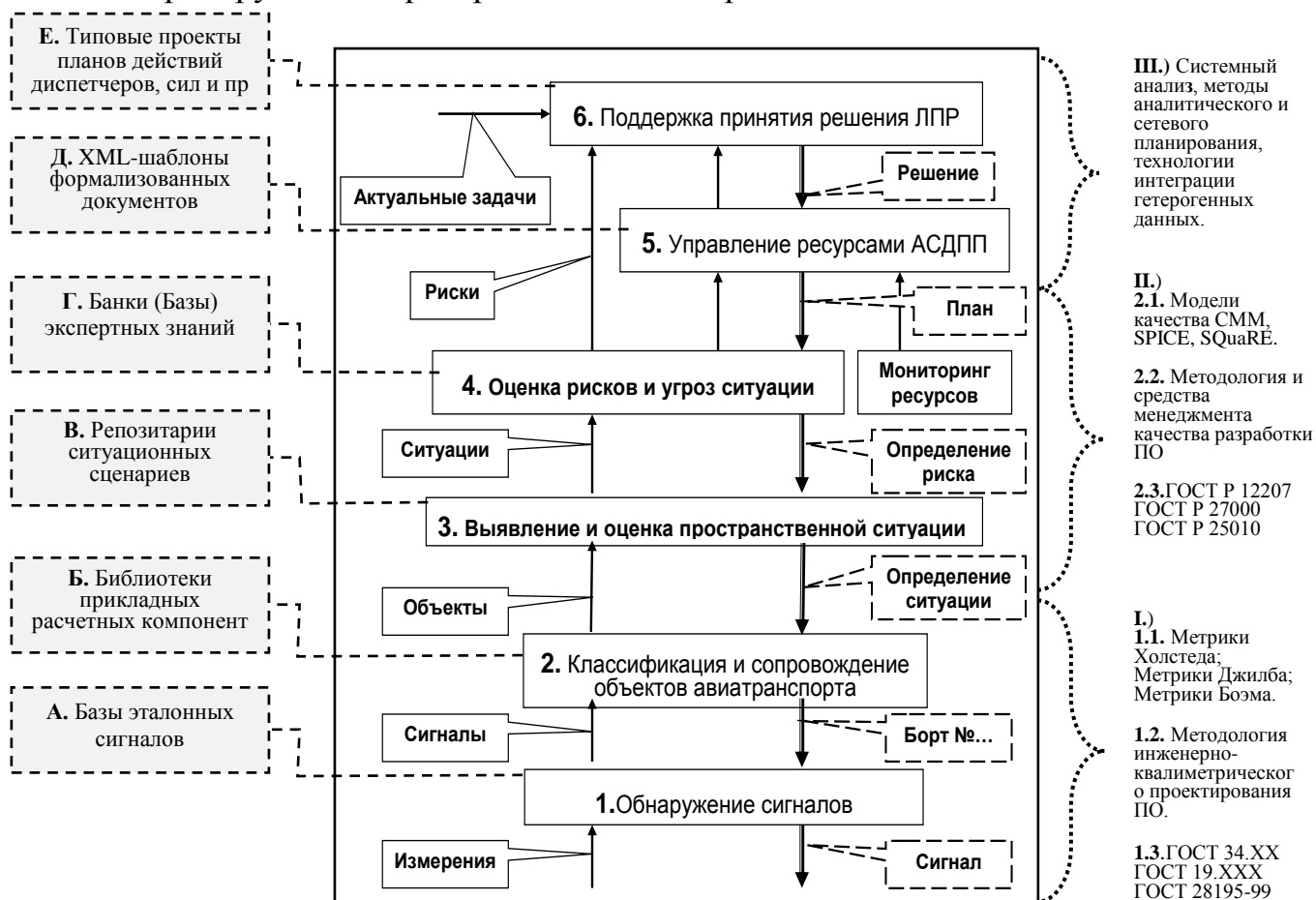


Рисунок 2 - Контур управления в понятийном базисе СУ, реализуемый в АСДПП авиатранспортом

При этом функциональность ситуационного управления реализуется в рамках АСДПП посредством возможностей соответствующих ПК. Принципиальное повышение результативности и улучшение качества управления пространственными процессами авиатранспорта с использованием средств ситуационного менеджмента и интеллектуальной поддержки сегодня тесно увязано с реализацией принципиально более совершенной модели обработки информации в АСДПП при диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта. Такая модель ориентирована не только на обработку информации о каждом авиационном объекте (борте), а на анализ геопространственных ситуаций и оценку степени их опасности. Такая модель предусматривает шесть уровней обработки информации, показанные на рисунке 3 в рамках схемы улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента. Именно в этом

выражается реализация информационного аспекта ситуационного управления диспетчеризируемыми пространственными процессами.



Средства реализации функциональности ситуационного управления

Уровни ситуационной обработки информации в ПК АВДПП авиатранспорта

Квалиметрические средства улучшения качества

Рисунок 3 - Концептуальная схема улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента

Во второй главе на основе концепции улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента, также предложен метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса (*Положение 2*).

Определено, что качество протекания авиационного пространственного процесса - есть степень удовлетворения потребностей всех его участников, обеспечивающих сил, а так же потребителей соответствующих авиатранспортных услуг. Основными сложными показателями этого качества являются: безаварийность, навигационная точность, экономическая результативность, оперативность и пр.

Принятая в рамках обобщающей концепции улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств

ситуационного менеджмента принципиальная схема определения «штатных» и «нештатных» ситуаций предполагает следующее соотношение этих понятий с понятием «Качество протекания пространственного процесса»: чем в большей степени развитие пространственного процесса соответствует созданию последовательностей штатных (стандартных) ситуаций, т.е. ближе такое протекание установленному регламенту протекания пространственных процессов, тем выше его качество. И наоборот: чем сильнее развитие пространственного процесса отклоняется от установленного регламента протекания пространственных процессов, т.е. порождает большее число нештатных (нестандартных) ситуаций, тем ниже качество протекания такого пространственного процесса. Следовательно, становится возможным говорить о динамике качества авиационного пространственного процесса по мере его развития. Эта динамика обоснована тем, что не одна внештатная ситуация не складывается одновременно: всегда имеет место факторы поступательного наращивания опасных отклонений, несанкционированных сближений и пр.

В рамках вышеописанного подхода, предусматривающего предварительное описание штатного протекания любого пространственного процесса, качество протекания реального пространственного процесса определяется степенью его точности и «близости» по всем параметрам-показателям к протеканию моделируемого в ПК АСДПП штатного эталона. Очевидно, что «описывать» штатный эталон для протекания каждого пространственного процесса как самостоятельную программную модель, реализуемую на принципах традиционного программирования в рамках объектно-ориентированного подхода, не представляется возможным в силу неограниченного числа вариантов специфики развития пространственных процессов авиатранспорта, а также высочайшей трудоемкости. Однако, учитывая, что штатное протекание любого авиационного пространственного процесса в руководящих документах представляет собой сумму знаний о правилах, которые должны быть выполнены в ходе развития такого процесса, представляется эффективным и обоснованным описывать штатные эталоны пространственных процессов как соответствующие формализованные знания в базе знаний (БЗ) для экспертной системы в составе ПК СУ АСДПП. Тогда программные компоненты ПК СУ АСДПП, реализующие функциональность искусственной интеллектуальности (ЭС), осуществляют контроль и управление моделированием штатного (эталонного) протекания пространственного процесса. Это позволяет в дальнейшем осуществлять непрерывное и последовательное сравнение параметров эталонного и текущего протекания пространственного процесса, тем самым анализируя динамику его качества.

В работе показано, что важнейшей целью диспетчерской деятельности является обеспечение безаварийности диспетчеризируемых пространственных процессов. Поэтому одной из основных задач ПК СУ в АСДПП при анализе протекания авиационного пространственного процесса и его динамики является своевременное выявление признаков нештатной ситуаций на основе циркулирующей в системе информации обо всех диспетчеризируемых

пространственных процессах. При прямой постановке этой задачи представляется крайне затруднительным собрать полные и непротиворечивые знания о признаках и методах выявления всех возможных нештатных ситуаций. Множество нештатных ситуаций логически не ограничено, а экспертный опыт в отношении их признаков всегда будет обладать частным характером. Знание характеристик нештатных ситуаций, имевших место в прошлом, не обеспечивает уверенности в том, что в будущем не возникнет принципиально новая нештатная ситуация. Однако, наличие стандарта, установленного в регламенте протекания пространственных процессов, позволяет по-новому подойти к выявлению и представлению знаний о нештатных ситуациях. При этом подходе важно корректно представить знания о штатном (установленном) порядке протекания пространственного процесса, о тех характеристиках диспетчеризируемых объектов, которые позволяют сделать вывод о штатности текущей или прогнозируемой ситуаций, т.е. их соответствии имеющему регламенту организации пространственных процессов.

С использованием сформулированного подхода предложен и разработан метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса. Метод базируется на трех основных процедурах:

- репрезентация знаний о пространственном процессе на основе формализованного представления описания текущей пространственной ситуации. В рамках этой процедуры знания о пространственном процессе формулируются в виде обобщенного формализованного описания пространственной ситуации, которое учитывает все то множество параметров среды, диспетчеризируемых объектов и регламента организации пространственных процессов, которое отличает штатную ситуацию от нештатной.

- создание сценария пространственного процесса (планирование штатного пространственного процесса). При этом сценарий пространственного процесса представляет собой формализованные описания конечного множества пространственных ситуаций, моделируемых с заданной временной дискретностью и описывающих эталонный (стандартный, штатный) вариант развития рассматриваемого пространственного процесса от момента его инициализации (возникновения) до момента его ликвидации (окончания).

- моделирование утвержденного сценария в реальном масштабе времени в ПК АСДПП параллельно с фактическим развитием процесса. Такое моделирование позволяет осуществлять по каждому авиационному пространственному процессу текущий сравнительный и прогнозный анализ динамики качества его протекания. Целью текущего анализа является оценка штатности реальной пространственной ситуации на текущий момент времени. Целью прогнозного анализа является оценка возможности и времени возникновения нештатной ситуации из-за отклонения контролируемых параметров ситуации от их эталонных значений или их неизменения в определенный момент времени. Результаты обоих видов анализа направлены на своевременное выявление и автоматизированное предупреждение аварийных



ситуаций, активизацию внимания и деятельности диспетчера по предотвращению возникновения и разрешение нештатных ситуаций.

Все три базовые процедуры детально разработаны и обоснованы в работе.

Реализация метода анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса осуществляется в 6 этапов:

1. Синтез текущей онтологии ПК СУ АСДПП авиатранспортом из необходимых базовых онтологий, ее представление в виде дерева классов, а затем представление на языке представления знаний (формальная и программная модели знаний).

2. Построение сценария эталонного развития пространственного процесса в графических примитивах:

2.1. построение укрупненных (по этапам), а затем детализированных (по действиям) схем сценариев пространственных процессов;

2.2. реализация блоков решений в сценариях;

2.3. реализация конкретных действий.

3. Реализация предметных знаний, интеграция процедурных и предметных знаний (генерация правил в БЗ на основе онтологии).

4. Тестирование базы знаний (верификация, оценка адекватности и проблемный анализ полученных сценариев);

5. Привязка сценария к конкретному пространственному процессу (добавление представителей классов).

6. Осуществление динамического (последовательного и непрерывного) сравнительного анализа соответствия реального пространственного процесса эталонному по установленному набору параметров-показателей качества пространственного процесса.

В работе проведена детализация описания указанных этапов метода анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса, что позволило подробно раскрыть его содержание.

В завершении второй главы проведена систематизация требований квалиметрической оценки ситуационного управления пространственными процессами путем разработки и обоснования соответствующей структура для системы таких требований.

**Третья глава** – «Метод комплексной оценки безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте» - включает основные положения метода оценки безаварийности пространственных процессов (*Положение 3*), состоящие из: 1) базовых основ такой оценки с использованием средств системно-информационного анализа, целесообразность применения которого установлена в ходе данного исследования; 2) описания процедуры прагматическая оценки информации о показателях безаварийности пространственных процессов авиатранспорта; 3) процедуры агрегирования указанных показателей.

Частной целью разработки данного метода было обоснованное предложение комплекса логико-математических моделей и процедур, которые позволят оценить соответствие параметров контролируемых пространственных процессов

авиатранспорта некоторому нормативному уровню безаварийности. При этом безаварийность в работе понимается как показатель взаимной, внешней безопасности пространственных процессов, характеризующий степень невозможности пересечения двух и более пространственных процессов в одно время в одной точке геопространства.

В рамках аксиоматики системно-информационного анализа все цели диспетчеризации авиабортов в воздухе (пространственных процессов) рассматриваются в узком смысле. В общем случае цель может задаваться в некотором  $n$ -мерном пространстве параметров  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , которые с позиций теории ситуационного управления являются частными показателями качества протекания пространственного процесса. Идеальная цель в таком пространстве обозначается концом вектора цели  $x_{эм}$ . В практической деятельности в любой предметной сфере обычно имеют дело с целями, которые определяются соответствующей областью. Тогда считается, что имеют место т.н. внешние опасные границы, обозначаемые в виде  $l(x_{ог})$  — за ними цель полностью не достигается, и т.н. внутренние границы, обозначаемые в виде  $l(x_{вг})$ . Идентификация уровня риска или ущерба осуществляется через расчет таких сводных показателей как неупорядоченность и неорганизованность системы диспетчеризации-пространственный процесс, а так же эффекта полезности от воздействия диспетчерской информации. Неупорядоченность – есть мера отличия контролируемого параметра  $x_j$  пространственного процесса по отношению эталона порядка  $x_{эм}$ , которая стремится к 0 при  $x_j \rightarrow x_{эм}$ . А неорганизованность есть интегрированный по конечному множеству ситуаций, интервалов времени диспетчеризации показатель неупорядоченности системы АСДПП-пространственный процесс, по отношению рассматриваемых характеристик её функционирования. Полезная информация — это те параметры неорганизованности указанной системы, которые, будучи примененными в диспетчеризации, способны снизить неорганизованность указанной системы по отношению  $j$ -ой цели диспетчеризации. В работе исследована и показана рациональность принятия в роли показателя неупорядоченности достижения частной цели  $K_i$  диспетчеризации классической оценки вероятности  $q_i$  достижения такой цели в виде:

$$q_i = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{эм_i})^2}{nR_i^2}, \quad (1)$$

где  $x_i - x_{эм_i}$  — отклонение значения показателя  $x_i$  от значения эталона  $x_{эм_i}$  в абсолютном измерении;  $q_i$  — вероятность не достижения частной цели  $K_i$ ;  $R_i$  — радиус внешней опасной границы  $l(x_{ог})$  для области определения  $x_i$ . Формула (1) задает математическую форму функции  $\varphi$  для модели  $L_Q = \langle \bar{X}, \varphi, \bar{Q} \rangle$  общей шкалы измерения значений по показателям  $\{x\}$ , что дает возможность на основе теории системно-информационного анализа предложить схему прагматической оценки пространственных процессов АСДПП авиатранспортом и задать математическую форму функции  $\psi$  полезности получаемого значения показателя  $x$  для достижения

соответствующей ему частной цели  $K$  обеспечения пространственной безаварийности соответствующих процессов авиатранспорта. Основанием выбора возможных форм функции  $\psi$  на шкале  $L_o = \langle \bar{Q}, \psi, \bar{O} \rangle$  неорганизованности и на шкале  $L_l = \langle \bar{Q}, \psi, \bar{I} \rangle$  полезности информации диспетчеризации являются данные ситуационного управления, искусственного интеллекта и инженерной психологии. В этих научных дисциплинах обоснован тезис о существовании единой, общепринятой системы предпочтений по отношению свойств результатов деятельности. Базовой закономерностью такой системы предпочтений принята логарифмическая зависимость оценок свойств процессов от параметров этих процессов. На этой базе в работе разработаны и предложены расчетные параметры пространственных ситуаций, как совокупностей взаимодействующих пространственных процессов и АСДПП, в таком виде:

1. Абсолютную неупорядоченность по  $i$ -му показателю как некоторую вероятность  $q_i$  не достижения сформулированной в узком смысле цели  $K_i$ , определяемую по (1)

$$y_{ia} = q_i, \quad (2)$$

где  $q_{\varepsilon mi} = 0$  при  $x_i = x_{\varepsilon mi}$ .

2. Сравнительную неупорядоченность по  $i$ -му показателю:

$$y_{ic} = \frac{q_i}{\varepsilon(q)} - 1, \quad (3)$$

где, соответственно,  $\varepsilon(q)$  -  $q$  на  $l(x_{\varepsilon z})$  для области достижения цели  $K_i$ .

3. Единичную неорганизованность по  $i$ -му показателю:

$$O_i = \log_2 \frac{q_i}{\varepsilon(q)}. \quad (4)$$

Выполнение условия  $q_i < \varepsilon(q)$  задает величину  $y_{ic}$  отрицательной и это означает, что неорганизованность теряет смысл. В таком варианте считается, что пространственный процесс или совокупность таких процессов в пространственной ситуации по рассматриваемому показателю  $x_i$  полностью организован и имеет место, т.н. избыточная упорядоченность. При этом в проведенном исследовании показано, что при диспетчеризации такую избыточность надо признать полезной при проведении оценки согласно (2) абсолютной неупорядоченности, а при оценке единичной неорганизованности и сравнительной неупорядоченности согласно (3,4) ее необходимо принимать как  $q_i = \varepsilon(q)$ . При частной цели функционирования АСДПП авиатранспортом формулируемой как достижение безаварийности пространственных процессов, то есть как недопущение событий возникновения пространственных аварийных ситуаций, то качество организации такого пространственного процесса авиатранспорта оценивается относительно эталона безаварийной ситуации, для которого  $q_i^{on} = 1$  согласно выражению

$$I_i^{on-тек} = O_{on} \Leftarrow O_{тек} = \log_2 \left[ \frac{q_i^{on}}{\varepsilon(q)} \times \frac{\varepsilon(q)}{q_i} \right] = \log_2 \frac{1}{q_i}, \quad \text{где } \varepsilon(q) > 0. \quad (5)$$

Выражение (5) применяется для идентификации текущей пространственной ситуации как штатной или нештатной. Это делается путем определения условно опасной границы (УОГ) достижения цели  $K_i$ . Условно опасная граница определяется специалистами-экспертами путем назначения параметра  $q_i^{on} > q_i^{um} \geq \varepsilon(q)$  до достижения которого ход анализируемого пространственного процесса рассматривается как штатный, а при превышении, как нештатный. При  $q_i > q_i^{um}$  неорганизованность пространственного процесса принимается как недопустимая, а полезность воздействий диспетчера, согласно (5), является недостаточной, а следовательно, текущая пространственная ситуация является нештатной и требующей корректирующих воздействий-указаний диспетчера. Оценка соответствия текущей пространственной ситуации некоторому штатному эталону на базе выражения (5) заключается в:

1) в определении количества реализуемой полезной информации АСДПП по условно опасной границе  $-q_i^{um}$  достижения соответствующей цели функционирования:  $I_i^{on-um} = O_{on} \Leftrightarrow O_{um} = \log_2 \frac{1}{q_i^{um}}$ , где  $\varepsilon(q) > 0$ . (6)

2) к оценке соответствия текущей ситуации штатному протеканию по критерию: 
$$\begin{cases} I_i^{on-мек} \geq I_i^{on-um} & - штатная ситуация, \\ I_i^{on-мек} < I_i^{on-um} & - нештатная ситуация \end{cases} \quad (7)$$

Оценка соответствия текущей пространственной ситуации некоторому штатному эталону проводится относительно её неорганизованности по отношению к штатной ситуации и фактически обозначает недостаток в АСДПП полезной управляющей информации, при такой цели АСДПП как обеспечение штатного протекания пространственных процессов ( $q_i \leq q_i^{um}$ ):

$$I_i^{мек-um} = O_{мек} \Leftrightarrow O_{um} = \log_2 \frac{q_i}{q_i^{um}}. \quad (8)$$

В таком варианте оценки штатность текущей ситуации проводится согласно следующему решающему правилу (критерия):

$$\begin{cases} I_i^{мек-um} \leq 0 & - штатная ситуация, \\ I_i^{on-мек} > 0 & - нештатная ситуация \end{cases} \quad (9)$$

Информацию по диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта для всей совокупности параметров пространственной ситуации следует определять на основе терминологии, определяющей ( $K_{o_i}$ ) и дополняющей ( $K_{q_i}$ ) частных целей диспетчеризации. При этом вероятность  $q = y_a$  не достижения цели  $K$  будет определяться выражением:

$$\bar{y}_a = q^{мек} = 1 - \left[ \prod_{i=1}^l (1 - q_{o_i}) \right] \left( 1 - \sum_{i=l+1}^n m_i q_{o_i} \right), \text{ при } \sum_{i=l+1}^n m_i \leq 1, \quad (10)$$

где  $q_{o_i}, q_{d_i}$  - показатели определяющих и дополняющих частных целей диспетчеризации;  $m_i$  - вес для дополняющей частной цели диспетчеризации. При включении параметром  $q^{тек}$  в выражения (8, 9) становится возможным рассчитать значения оценок, обобщенных по рассматриваемому множеству показателей.

Далее в работе показано, что представленные способы оценки неупорядоченности и неорганизованности пространственных ситуаций, а также полезности воздействий средств АСДПП авиатранспортом обеспечивают оценку качества управления пространственными процессами при любом конечном множестве их учитываемых характеристик. Это определяет рациональность их применения для оценки текущих пространственных ситуаций в соответствующих программных комплексах ситуационного управления. Вместе с тем, указанные выше соотношения имеют ограничение, связанное со сложностью взаимосвязи оцениваемых показателей безаварийности пространственной ситуации на авиатранспорте. Существо этого ограничения заключается в том, что в (6) – (10) объединяемые неупорядоченности рассматриваются как равновесные. Это не соответствует существу пространственных ситуаций, для которого свойственна многоуровневая система декомпозируемых показателей, позволяющих выявлять и оценивать безаварийность рассматриваемой пространственной ситуации.

Представление системы показателей оценки безаварийности пространственных процессов, в рамках объектно-ориентированного подхода к разработке ПК, в виде дерева классов позволяет эффективнее описывать эту систему на языке программирования в соответствующих специализированных программных средах. При этом в нотации используемого языка формального представления знаний и данных о такой системе показателей описывается каждый класс (показатель) с соответствующими ему слотами (отношениями, уточнениями, значениями). Если при описании каждого из показателей определить необходимость его использования в оценке организованности пространственного процесса, безаварийности текущей ситуации, указать приемлемые пределы изменений значений и характер влияния их неупорядоченности и неорганизованности на стоящие на более высоком уровне иерархии сводные показатели, то сама такая программная реализация соответствующих экземпляров классов определит иерархическую структуру показателей неупорядоченности пространственной ситуации (процесса). В развитие данного тезиса в работе детально раскрыто и показано, что описанный принцип вложенности более простых показателей неупорядоченности и неорганизованности в более сложные аналитически представим в виде следующего соотношения:

$$\left. \begin{aligned} Q(B_{ij}) &= Q[m(B_{ij}), s(M_{j+1}^{ij})] && \text{для } \forall B_{ij} \in \{B_k\}; \\ Q(B_{ij}) &= Q[m(B_{ij}), s(B_{ij})] && \text{для } \forall B_{ij} \notin \{B_k\}; \\ Q(B_{01}) &= s(M_1^{01}) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где  $Q(B_{ij})$  – сводная квалиметрическая оценка в узле иерархии  $B_{ij}$ ;  $M_{j+1}^{ij}$  – подмножество узлов  $B_{l,j+1}$ , ассоциированных с пучком связей с корневым узлом  $B_{ij}$ ;

$s(M_{j+1}^{ij})$  – интегрированное качество узла  $B_{ij}$ , измеряемое по показателям, свойственным узлам  $B_{l,j+1} \in M_{j+1}^{ij}$ ;  $\{B_{\hat{e}}\}$  – подмножество корневых узлов;  $B_{01}$  – интегральный узел иерархии,  $m(B_{ij})$  – вес показателя  $Q(B_{ij})$  при его композиционном включении в показатель высокого уровня, для которого верно:

$$\exists M_{j+1}^{ij} (M_{j+1}^{ij} \in D) \wedge \{Q(B_{ij})\} (B_{ij} \in M_{j+1}^{ij}; i = \overline{1, n}) \rightarrow \bigcup_{i=1}^n m(B_{ij}) = a, \quad (12)$$

где:  $\bigcup_{i=1}^n m(B_{ij}) = a$  есть правило а оценки значимости агрегируемых показателей.

При этом, если элементарные (терминальные узлы иерархии) показатели представлены в единой шкале измерений, то оценка элементарного показателя заключается в

$$s(M_{j+1}^{ij}) = \bigcup_{i=1}^n m_{i,j+1}^{ij} Q(B_{l,j+1}^{ij}) = F(Q(B_{l,j+1}^{ij}), m_{i,j+1}^{ij}) \text{ при } \bigcup_{i=1}^n m(B_{ij}) = a, \quad (13)$$

где  $B_{l,j+1}^{ij}$  – узлы, которые входят в пучок  $M_{j+1}^{ij}$ , образуемый корневым узлом  $B_{ij}$ ;  $Q(B_{l,j+1}^{ij})$  – значения показателей в узлах иерархии  $B_{l,j+1}$ ;  $m_{i,j+1}^{ij}$  – вес таких показателей при композиционном объединении в сводный показатель.

Таким образом, для системы показателей, структурированной в виде дерева, построение структуры сводных показателей заключается в определении в (13) интегральной формы функции-свертки  $F(Q(B_{l,j+1}^{ij}), m_{i,j+1}^{ij})$ , отвечающей за корректность композиционного объединения подмножества одноуровневых частных показателей. Этому отвечает свертка вида (10), которая: а) реализует композиционное объединение сколь угодно большого подмножества одноуровневых частных показателей; б) задает математически корректный алгоритм композиции частных показателей с учетом их веса для вышестоящих в иерархии показателей.

Предложенный метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте, благодаря разработанной схеме агрегирования показателей, хорошо автоматизируем и позволяет эффективно моделировать квалиметрические системы показателей безаварийности практически любого уровня сложности. В завершении третьей главы приведен пример декомпозиции модели комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте в нотации IDEF (Integration Definition for Function Modeling).

**Четвертая глава** – «Методы квалиметрического оценивания программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте» включает описания метода оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте и метода репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

Метод оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте (*Положение 4*) содержит основные принципы, положения, научно-методические и математико-алгоритмические средства реализации иерархической оценки качества прикладного программного обеспечения в ПК СУ для АСДПП авиатранспортом.

Установлено, что основной задачей оценки качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом является необходимость учета недостаточности входной квалиметрической информации. Под недостаточностью входной квалиметрической информации в работе понимается её неполнота, неточность, нечисловой характер или нечеткость числовых измерений.

Для получения значений интегрального и сводных показателей качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом в условиях недостаточности входной квалиметрической информации метод включает три последовательных этапа: 1. построение исходной сети показателей оценки; 2. взвешивание сети показателей оценки; 3. расчет сводных и интегрального показателя качества ПК СУ.

Необходимость построения исходной сети показателей оценки путем шкалирования и синтеза значений отдельных показателей определяется тем, что при создании ПК СУ для АСДПП авиатранспортом исходной информацией оценивания, в современных условиях, являются не только данные объективных (инструментальных) измерений, но и многие экспертные (субъективные) оценки, характеризующиеся неполнотой, неточностью, нечеткостью и выражением в нечисловой форме. Именно учет этой специфики реальной исходной информации используемой при оценке ПК СУ для АСДПП авиатранспортом составляет существо первого этапа метода. Он обеспечивает возможность измерять любые характеристики качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом по разным шкалам разного вида, как числовым, так и ординальным (шкалам наименований). Возможность выбора шкалы измерения позволяют перейти от исходных характеристик, зачастую имеющих несопоставимые диапазоны варьирования, к нормированным отдельным показателям, принимающим значения из одного и того же заранее обусловленного интервала. Математически шкалирование сводится к типовым преобразованиям вида:

$$q(y) = \begin{cases} 0, & \text{при } y \leq y_- \\ \frac{y - y_-}{y_+ - y_-} & \text{при } y_- < y \leq y_+ \\ 1, & \text{при } y > y_+ \end{cases} \quad (14)$$

Такая «стандартизация» значений различных отдельных показателей (характеристик), в дальнейшем, позволяет корректно ввести понятие весового коэффициента», измеряющего сравнительную значимость отдельных показателей.

Суть второго этапа – взвешивание сети показателей оценки – заключается в рандомизации и оценке весовых коэффициентов в условиях неполной и неточной исходной информации показателей. Она сводится к формированию поля всех возможных векторов весовых коэффициентов, учете экспертной информации о приоритетности тех или иных показателей, и формированию вектора приоритетов показателей. Эта модель предполагает формирование числовой сетки по  $m$

показателям с дискретным шагом  $n$ , которая прореживается с учетом экспертной информации  $I$  о приоритетности соответствующих показателей. В формализованном виде такая информация представляется как система соответствующих неравенств. В результате исключения из начальной сетки комбинаций не соответствующих учетом экспертной информации  $I$  остается  $N$  комбинаций на базе которых можно получить весовые коэффициенты для  $m$  показателей. Весовые коэффициенты рассчитываются как алгебраическое среднее по каждому из  $m$  показателей на множестве из  $N$  комбинаций. При этом, каждый весовой коэффициент, характеризуется математическим ожиданием своего значения

$$\bar{w}_i(I) = M \tilde{w}_i(I) = \frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} w_i^{(t)}, \quad (15)$$

и соответствующим стандартным отклонением, выступающим в качестве меры точности его определения

$$s_i(I) = \sqrt{D \tilde{w}_i(I)} = \sqrt{\frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} [w_i^{(t)} - \bar{w}_i(I)]^2}, \quad (16)$$

а также возможными минимальным и максимальным значениями.

В рамках диссертационного исследования разработаны четыре конкретизированных варианта оценки весовых коэффициентов показателей, в зависимости от характера имеемой экспертной информации о приоритетности.

Стохастический дискретный математический аппарат рандомизации весовых коэффициентов (приоритетов доминирования показателей в сводных показателях) при оценке качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом обеспечивает учет любой дополнительной нечисловой, неточной и неполной информации о сравнительной важности частных показателей, что делает предлагаемый метод гибким средством синтеза сводных показателей оценки качества сложных многопараметрических объектов указанного вида программного обеспечения.

Существо третьего этапа метода - этапа расчета сводных и интегрального показателей качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом, состоит в обобщении частных показателей и полученных ранее оценок весовых коэффициентов, в соответствии с определенной иерархией показателей. Именно широкое использование нечисловых и неточных измерений при оценке качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом привело к тому, что отдельные показатели качества из одной иерархии показателей могут оцениваться с помощью шкал различных видов, а, следовательно, численные оценки таких отдельных показателей будут определены на разных алгебраических множествах. Этот факт предъявляет особые требования к целевой функции оценки, которая должна обеспечить сворачивание отдельных показателей в сводные и интегральный показатель качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом:

$$Q_j^{(i)}(I) = Q_+^{(i)}(q^{(j)}; I) = Q_+(q^{(j)}; w^{(i)}; I) = \sum_{i=1}^m w_i^{(i)} q_i^{(j)}. \quad (17)$$

При обосновании целевой функции оценки показано, что допустимые (т.е. сохраняющие отношения между градациями отдельных показателей)



преобразования,  $i = 1, \dots, m$ , отдельных показателей  $q_1, \dots, q_m$  являются допустимыми и по отношению к сводному показателю  $Q(q_1, \dots, q_m; w)$ , сохраняя отношение нестрогого порядка  $\geq$  между градациями качества, измеряемого этим сводным показателем. Иными словами, используемые сводные показатели, удовлетворяющие условию монотонности, являются адекватными относительно монотонных преобразований значений отдельных показателей.

Таким образом, использование математического аппарата рандомизации частных и сводных показателей в условиях недостаточности входной квалиметрической информации при линейной форме целевой функции оценки обеспечивает гармоничное сочетание возможностей шкалирования показателей оценки различной природы и универсального аппарата их интегральной свертки, соответствующего точности указанной системы шкалирования. Этот конструктив позволяет применять разработанный метод в условиях высокой гетерогенности (разнотиповости, разноплановости и пр.) исходной информации для оценки качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом.

Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте (*Положение 5*) включает в себя последовательность процедур учета нечеткости исходной квалиметрической информации о значениях показателей качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом, реализуемой на основе опроса экспертов, мнения которых имеют вербальный нечеткий характер. Процедуры основаны на базе математического аппарата теории нечетких множеств. В рамках процедуры оценивания экспертам предложено при оценке элементарных показателей использовать термины, приведенные в таблице 2. На основе числовых значений шкалы посредством экспертизы заданы функции принадлежности  $\mu(U)$ , описывающие значения термов лингвистической переменной  $B = \text{“совпадение с потенциальным значением показателя”}$  в  $T$  и  $\pi$  формах. Результаты определения параметров функций принадлежности  $\mu_T^B(U)$ , где  $T$  – числовое значение термина;  $a$  – коэффициент сглаживания,  $b^{\wedge}$  – расстояние между точками перехода, т.е. точками, в которых функция  $\mu_T^B(U) = \exp(-a(T - U)^2)$  при  $a = 4Ln \frac{0,5}{b^{\wedge 2}}$  принимает значение 0,5, так же приведены в таблице 2.

Значения оценок вышестоящих в иерархии показателей определяются по значениям локальных или глобальных приоритетов с использованием уровневых множеств, базирующихся на монотонном характере изменения  $\mu_T^B(U)$ , когда каждый участок монотонности может быть описан конечным числом точек.

Таблица 2 - Определение термов и их значений для лингвистической переменной  $B^{\wedge} = \text{“совпадение с потенциальным значением показателя”}$

№ п/п	Терм	Значение при $\mu_T^B = 1$	Аналитический вид функции принадлежности терма	Сущность терма	Вербальные значения терма
1	Несовпадение	<b>0</b>	$\mu_T^B(U) = 1 - 2U$	Нет смысла сравнивать альтернативы, очевидное полное несовпадение	Несовпадение, несравнимость, несопоставимость, отсутствие соответствия
2	Слабое совпадение	<b>1</b>	$\mu_T^B(U) = e^{-13,1(1-U)^2}$	Совпадение альтернатив практически незаметно нет уверенности в нем	Малозаметно, слабое, неубедительное
3	Умеренное совпадение	<b>3</b>	$\mu_T^B(U) = e^{-1,46(1-U)^2}$	Опыт и суждения подтверждают легкое совпадение; существуют показания о совпадении, но показания недостаточно убедительны	Умеренное, легкое, недостаточно убедительное
4	Существенное или сильное совпадение	<b>5</b>	$\mu_T^B(U) = e^{-0,35(1-U)^2}$	Опыт и суждения подтверждают существенное (сильное) совпадение альтернатив, существуют хорошие доказательства и логические критерии, которые указывают на это	Существенное, сильное надежное
5	Значительное совпадение	<b>7</b>	$\mu_T^B(U) = e^{-0,27(1-U)^2}$	Совпадение настолько сильное, что оно становится практически значительным; существуют убедительные свидетельства совпадения альтернатив	Значительное, очень сильное, убедительное
6	Абсолютное совпадение	<b>9</b>	$\mu_T^B(U) = e^{-0,16(1-U)^2}$	Очевидность совпадения альтернатив подтверждается наиболее сильно; максимально подтверждается осязаемость совпадения; свидетельство в пользу совпадения в высшей степени убедительно	Абсолютное, максимальное, очевидное
7	Промежуточные значения между соседними значениями	<b>2,4,6,8</b>		Компромиссный случай	

Показано, что при анализе и интерпретации результатов оценки качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом в условиях нечеткости возможны два принципиальных случая наложения рассчитанной кривой функции принадлежности оценки на шкалу термов, по типам: 1) оцениваемая версия ПК по анализируемому показателю лучше слабо совпадающей с идеальной, но хуже умеренно совпадающей; 2) оцениваемая версия ПК имеет количественные характеристики рядом стоящих термов, определяемые пересечением рассчитанной кривой функции принадлежности с ними, например,  $B^{\wedge} = \{ \text{“умеренно”}/0,7; \text{“существенно”}/0,6 \}$ .

Следовательно, данный метод позволяет: 1) принять решение о качестве проекта ПК СУ для АСДПП авиатранспортом в условиях нечеткости исходной информации; 2) обеспечить качественную интерпретацию результатов количественной оценки качества текущей версии ПК в рамках принятой

терминологической нотации термов лингвистической переменной  $B = \text{“совпадение с потенциальным значением показателя”}$ ; 3) количественно анализировать и учитывать степень нечеткости получаемых оценок качества ПК СУ для АСДПП авиатранспортом; 4) оперировать лингвистическими переменными при работе с экспертами.

**Пятая глава** – «Методы улучшения качества программных комплексов ситуационного управления на авиатранспорте» – посвящена разработке метода повышения надежности программных комплексов диспетчеризации за счет механизмов повторного использования кода и метода улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте, а также вопросам оценки эффективности результатов диссертационного исследования.

Метод повышения надежности программных комплексов диспетчеризации за счет механизмов повторного использования кода (*Положение б*) базируется на одноименной методологии разработки объектно-ориентированного ПО. Повторное использование программного кода за счет системного создания и использования различных баз программных компонент (библиотек функций, классов, объектов и сервисов) обеспечивает существенное снижение трудоемкости процесса создания нового программного обеспечения, а также значительный рост верифицированности и надежности ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, как программных изделий. Системное создание и широкое применение механизмов повторно используемого кода в технологическом процессе разработки ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом на основе баз программных компонент обеспечивает: надежность, унификацию и стандартизацию разрабатываемого ПО для указанных комплексов, а так же повышение эффективности разработки и сопровождения этих ПК за счет снижения временных затрат на непосредственное кодирование, тестирование и отладку их ПО. В частности, предложенный метод повышения надежности позволяет создавать глубоко верифицированные базы программных компонент повторяемого кода в рамках общей визуальной оболочки обладающей большими функциональными возможностями, что в свою очередь позволяет эффективно решить задачу повышения надежности указанных ПК. Он обеспечивает не только рост надежности как таковой, но и снижение временных затрат и повышение результативности разработки ПО для АСДПП авиатранспортом на основе указанных баз, как типичных представителей методологии повторного использования разработанного и верифицированного кода. Конструктивная схема метода повышения надежности ПК СУ АСДПП за счет механизмов повторного использования кода показана на рисунке 4.

Основой применения предлагаемого метода является выполненная соответствующими специалистами декомпозиция предметной области, функции которой должны быть внесены в визуальную библиотеку, по основанию «функция». При этом под декомпозицией предметной области по основанию «функция» следует понимать процесс исследования и (или) разработки математических моделей, которые описывают реальные процессы и явления

данной предметной области, выраженные в виде алгебраического (аналитического) представления, т.е. другими словами, представленные в виде математических функций. Декомпозиция предметной области по основанию «функция» в совокупности с соответствующими методами вычислительной математики обеспечивает возможность программной интерпретации математических функций, как соответствующих математических моделей, для выполнения по ним аналитических расчетов на компьютере, с обеспечением заданной точности и достоверности получаемых результатов при допустимой скорости выполнения расчетов.

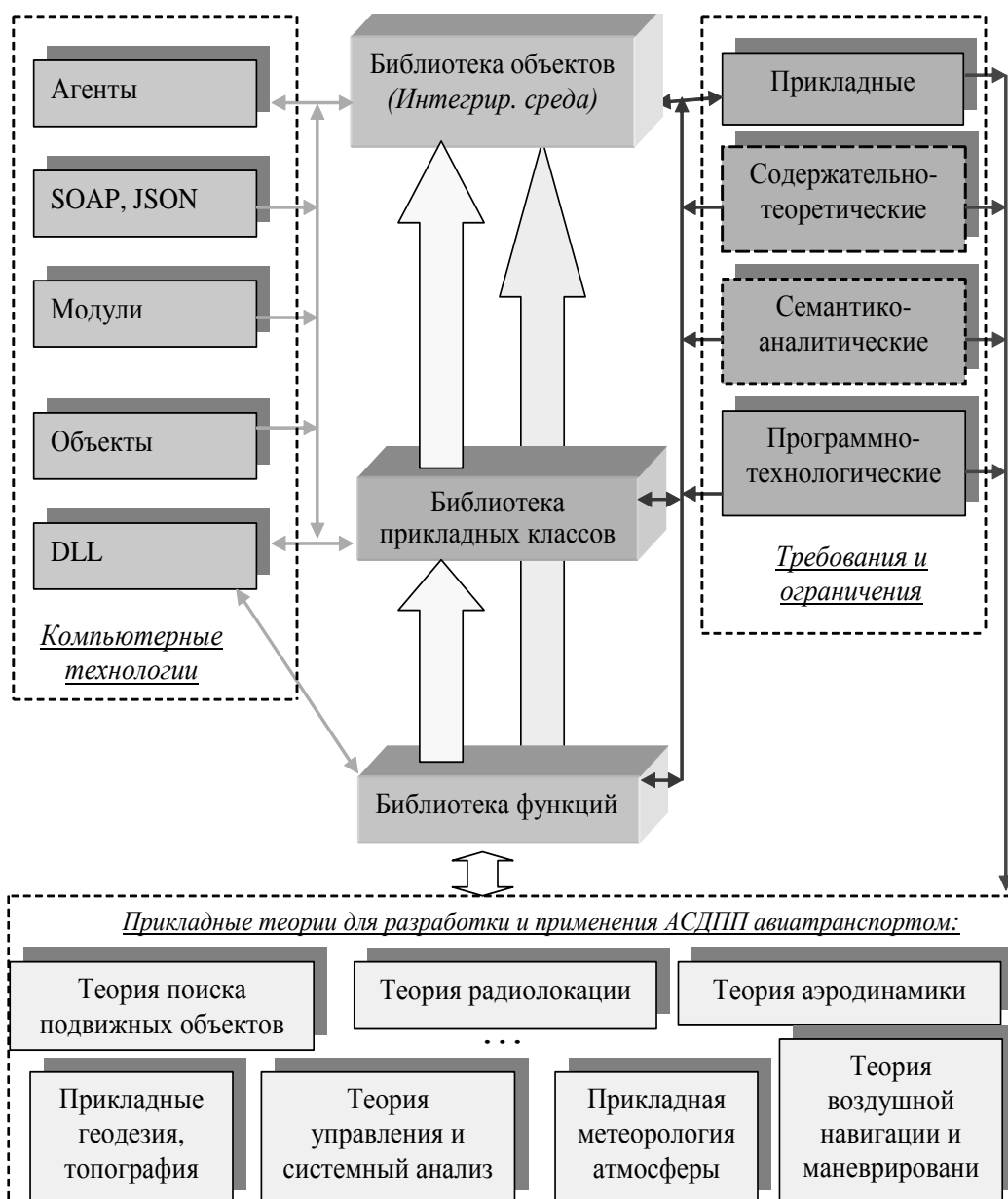


Рисунок 4 - Конструктивная схема метода повышения надежности ПК СУ АСДПП за счет механизмов повторного использования кода

Непосредственно основные этапы и их последовательность в виде структуры метод повышения надежности программных комплексов диспетчеризации за счет

механизмов повторного использования кода в обобщенном виде представлены на рисунке 5.

В рамках метода разработана модульная архитектура программной реализации визуального представления библиотек функций, описание основных модулей (компонент) которой, представлено в нотации UML на рисунке 6.

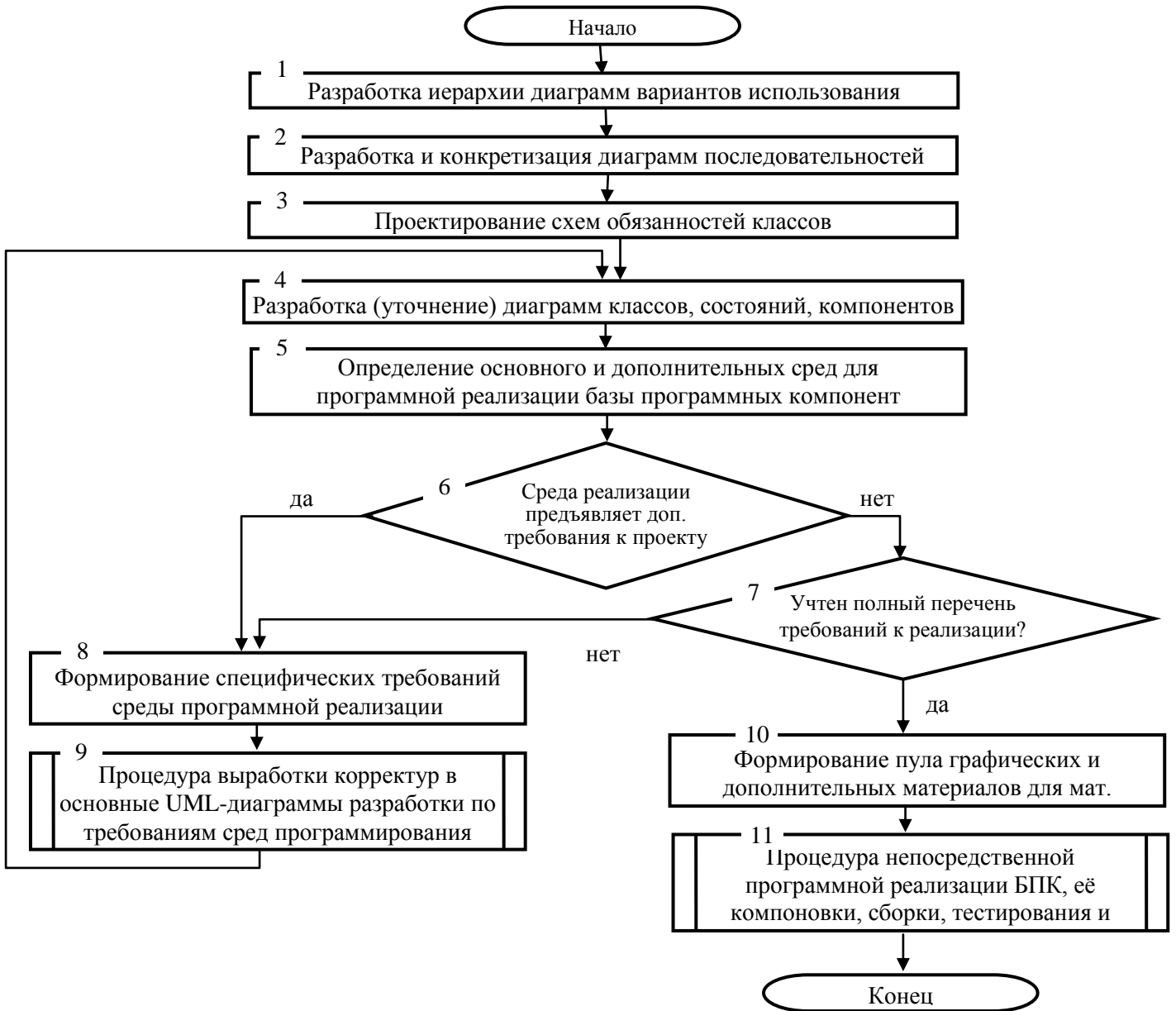


Рисунок 5 - Структура метода повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода

Данная модульная архитектура позволила при практической программной реализации визуальной оболочки представления прикладных функций получить следующую диаграмму компонентной реализации, представленной в нотации UML на рисунке 7.

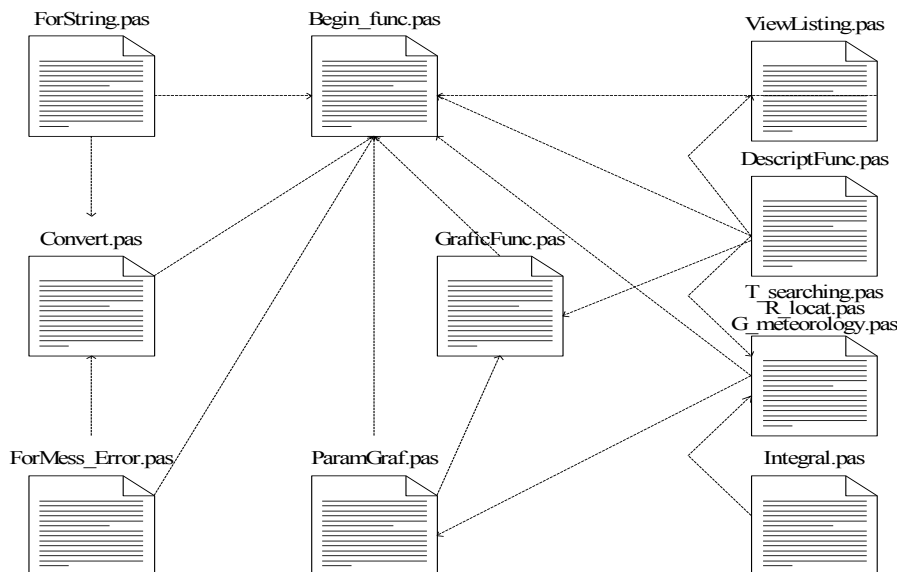


Рисунок 6 – UML-диаграмма архитектуры модулей (компонентов) проекта библиотеки функций для ПК СУ АСДПП авиатранспортом

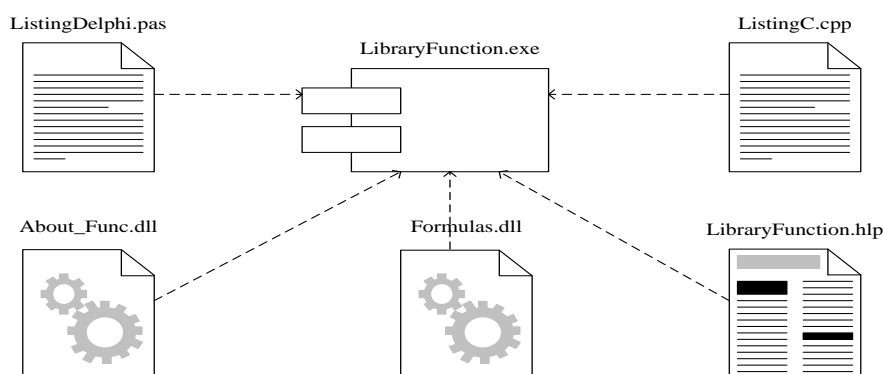


Рисунок 7 – Диаграмма компонентов проекта библиотеки функций

Эта диаграмма содержит программные компоненты, являющиеся общими для любой реализации визуальной библиотеки функций, вне зависимости от вида функций при ее наполнении.

Непосредственно предлагаемый метод повышения надежности разработан в диссертации как образ последовательности действий по разработке и добавлению в визуальную библиотеку новой функции и, таким образом, отражает как процесс создания, так и процесс сопровождения визуальных библиотек функций. Указанная последовательность в себя включает 4 обобщенных этапа:

1. Создание необходимых графических образов для представления функций;
2. Непосредственная программная реализация математического аппарата функций;
3. Реализация связи функции с визуальной оболочкой;
4. Формирование программного описания функции.

В главе показано, что предложенное представление прикладных функций при разработке и сопровождении их визуальной библиотеки позволяет создавать

такие библиотеки в рамках специализированной визуальной оболочки, обладающей большими функциональными возможностями, что в свою очередь позволяет решить наиболее типичные и часто возникающие проблемы при использовании таких механизмов повторно используемого кода, как базы программных компонент. За счет этого предложенный метод способен обеспечить снижение временных затрат и повышение надежности ПО при разработке ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом на основе подобных визуальных библиотек функций, как типичных представителей баз программных компонент. В отличие от существующих подходов, разработанный метод обеспечивает:

- выполнение верификации, проверку работоспособности и тестирование функций за счет предоставления соответствующего автоматизированного механизма, реализованного в визуальной оболочке;

- решение задачи полноты и однозначности описания функций за счет совмещения визуального и текстового описания каждой функции;

- предоставление средств для анализа и проверки граничных условий применимости функций, за счет возможности построения графиков функций относительно любого аргумента;

- многовариантность представления функций, за счет реализации листингов функций на 2-х и более языках программирования, а также обеспечения возможности получения откомпилированных модулей в различных форматах и реализаций функций в виде динамических библиотек.

Метод улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте (*Положение 7*) предполагает повышение экономичности разработки этих ПК за счет методологии повторного использования кода, опирающейся на применение баз готовых программных компонент состоящих, прежде всего, из библиотек программных функций, а также более сложных программно-технологических конструкций, какими являются программный классы объектов, готовые программные объекты и сервисы. Код и компоненты проектов при объектно-ориентированной разработке ПО являются действительно многократно используемыми, потому что они смоделированы непосредственно из реальной прикладной области. Каждый класс функционирует отдельно или вместе с небольшим числом равноценных классов. Внутри этого логического каркаса класс не соприкасается с остальной частью системы, а также не определяется, как он может использоваться внутри отдельной системы. Это приводит к тому, что обобщенная разработка классов, с возможностью многократного использования – становится постоянной фоновой целью любого проекта, обеспечивающей экономичность разработки вновь иницируемых проектов ПК для АСДПП авиатранспортом. Метод предполагает следующую последовательность обобщенных шагов создания и сопровождения комплексных библиотек прикладных классов и объектов (сервисов):

- I. Создание VCL-компонентов;
- II. Создание ActiveX компонентов;

- III. Создание объектов для реализации ПК на основе сервис-ориентированной архитектуры (SOA), обеспечение кросс-платформенности приложений;  
 IV. Создание SOAP (JSON) – объектов (сервисов).

Все указанные этапы по операционно детализированы и обоснованы в работе.

Структурная схема метода улучшения экономичности разработки ПК СУ пространственными процессами на авиатранспорте представлена на рисунке 8.

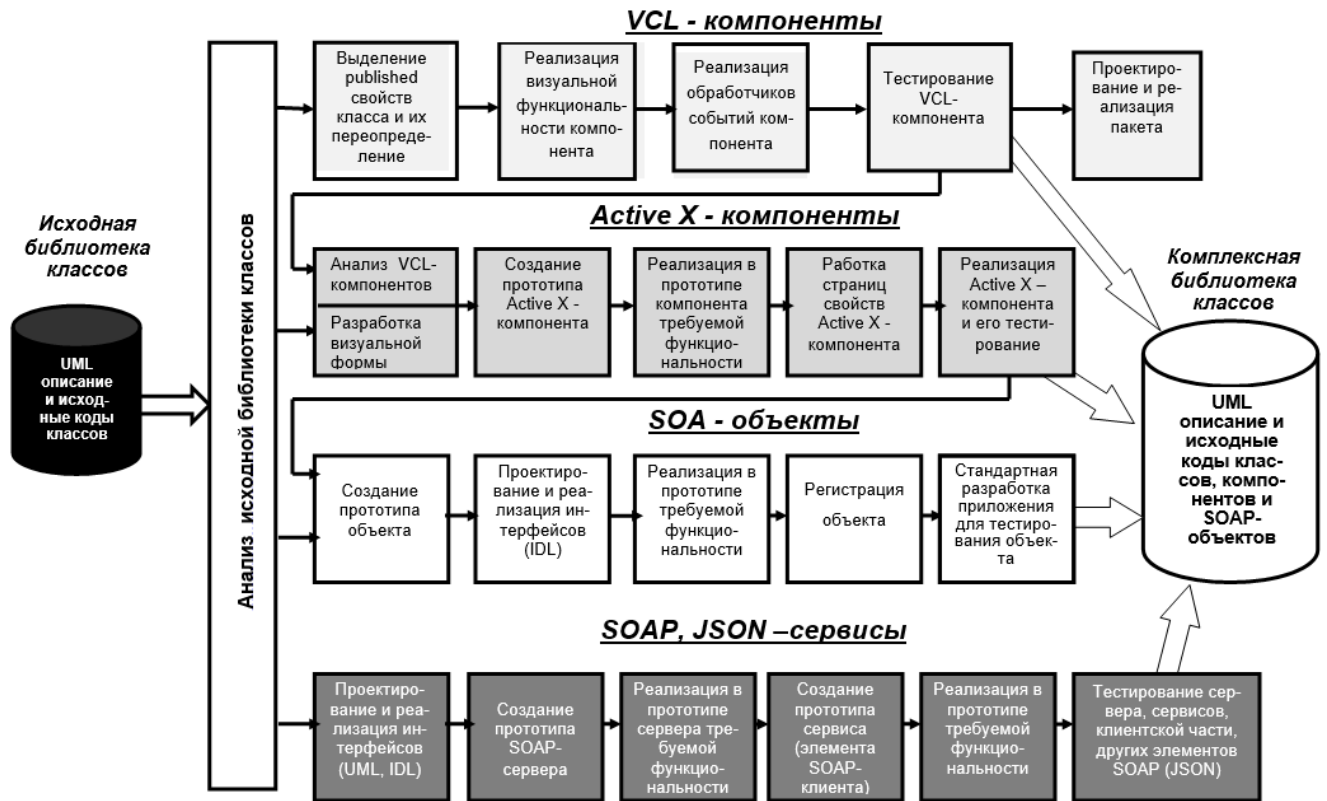


Рисунок 8 – Структура метода улучшения экономичности разработки ПК СУ пространственными процессами на авиатранспорте

В рамках пятой главы произведен анализ возможной степени итогового улучшения качества ПК для АСДПП авиатранспортом за счет использования визуальных библиотек прикладных функций, комплексных библиотек прикладных классов и объектов (сервисов). В результате данного анализа обосновано и показано, что применение баз программных компонент объектно-ориентированного синтеза ПО для ПК для АСДПП авиатранспортом способно повысить сложность вновь создаваемого программного обеспечения, обеспечивая при этом достаточный (заданный) уровень надежности, а также сокращение сроков разработки и соответственного снижения требуемой трудоемкости и уровня затрат (т.е. рост экономичности разработки). Широкое применение визуальных библиотек функций, комплексных библиотек классов и объектов способно обеспечить качественно новый уровень наполнения и использования фондов алгоритмов и программ Министерства транспорта РФ, крупных предприятий транспортного комплекса, обеспечивая при этом разработчиков широким инструментарием как для разработки нового, так и сопровождения существующего объектно-ориентированного программного обеспечения СУ пространственными процессами.

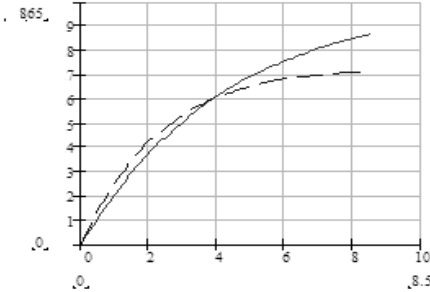
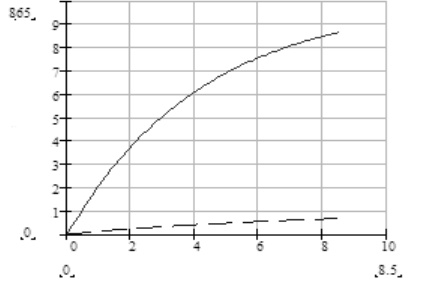
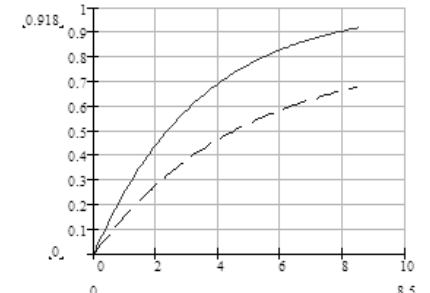
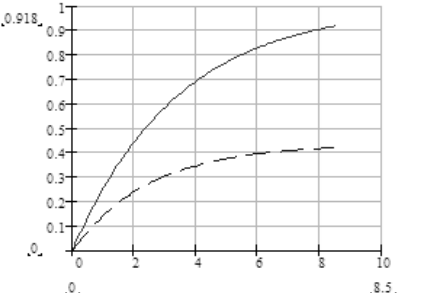
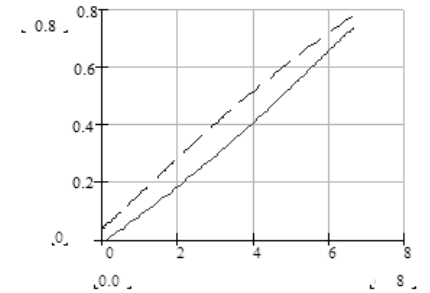
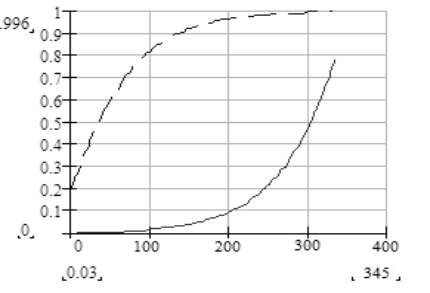
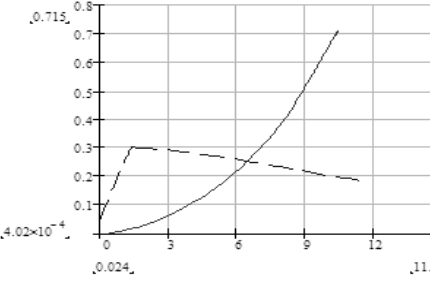
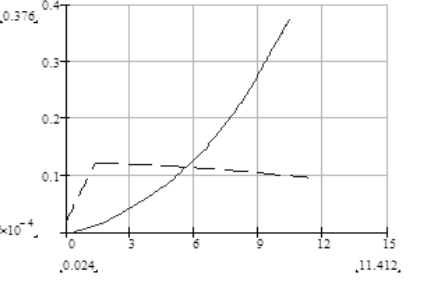


В главе приведены результаты экспериментальной апробации и оценки эффективности полученных в диссертационной работе методов, положений, выводов и рекомендаций. Оценка эффективности проведена в рамках диссертационного эксперимента, который осуществлен с использованием средств имитационного моделирования применительно к характеристикам типовой АСДПП авиатранспортом. Целью эксперимента являлось установление факта статистически-значимого прироста результативности (т.е. ее составляющих) ПК АСДПП авиатранспортом за счет реализации в их прикладном программном обеспечении методов СУ. При этом составляющие результативности рассматриваются, как некоторые показатели качества ПК АСДПП авиатранспортом, а факт роста результативности по этим составляющим рассматривается как свидетельство улучшения качества. В качестве контрастных альтернатив в эксперименте рассмотрены: 1. использование традиционных средств диспетчеризации и поддержки решений диспетчера на основе математико-алгоритмических моделей задач выявления и разрешения коллизий в развитии пространственных процессов авиатранспорта; 2. использование аппарата ситуационного управления, реализуемого на базе сценарного подхода и программной технологии экспертных систем для решения того же круга задач.

В процессе математико-статистическое моделирования и сравнительного анализа альтернативных вариантов ПК АСДПП авиатранспортом осуществлено три серии оценивания (по двенадцать актов каждый) показателей результативности прототипов. При этом предполагалось, что альтернативные прототипы ПК для АСДПП использовались для автоматизированного выявления и разрешения коллизий в движении авиатранспорта, которые моделировались и анализировались в среде MathCAD 2000 Professional, за счет объединения данных по самолетам гражданской авиации с сайта <https://www.flightradar24.com/> и из БД маломерной авиации в равнозначном статусе. Указанное объединение позволило имитировать возникновение коллизий, которые необходимо выявлять и предотвращать с использованием ПК для АСДПП авиатранспортом. В качестве опытного района было рассмотрено воздушное пространство над Финским заливом и близлежащими аэропортами. Это позволило при каждом акте оценивания использовать однородные, типовые и максимально приближенные к достоверному варианты представления входной информации для диспетчеризации авиатранспорта.

На основании обоснованной интерпретации составляющих функциональной результативности и полученных статистически-значимых результатов оценки по ним, как соответствующим конкретизированным показателям эффективности альтернативных моделей ПК АСДПП, в эксперименте получены результаты сравнительного анализа, показанные в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты апробации и количественной оценки эффективности разработанного методологического инструментария

а) Сокращение времени разработки компонента ПО соответствующего типовой функции-задаче, при заданном уровне сложности	
 <p>Без использования предлагаемого инструментария</p>	 <p>С использованием предлагаемого инструментария</p>
б) Снижение вероятности факта ошибки (дефекта) программного кода ПК для АСДПП авиатранспортом	
 <p>Без использования предлагаемого инструментария</p>	 <p>С использованием предлагаемого инструментария</p>
в) Рост числа разрешаемых коллизий (опасных ситуаций) в единицу времени	
 <p>При малом числе моделируемых опасных ситуаций, без фоновой обстановки</p>	 <p>При большом числе моделируемых опасных ситуаций, с фоновой обстановкой</p>
г) Уменьшение вероятности ошибки диспетчеризации при росте числа контролируемых бортов	
 <p>Без использования предлагаемого инструментария</p>	 <p>С использованием предлагаемого инструментария</p>

На приведенных графиках сплошная линия описывает изменение исследуемого параметра ПК для АСДПП авиатранспортом на традиционных математико-алгоритмических принципах, а пунктирная – для ПК ситуационного управления, реализуемого на базе технологии экспертных систем. Ряд исследуемых показателей были сложносоставными и были оценены качественно экспертным путем.

Полученные результаты экспериментальной апробации и оценки эффективности позволили сделать обобщающий вывод, что результаты данного диссертационного исследования обеспечивают рост результативности и улучшения качества ПК для АСДПП авиатранспортом, за счет использования принципов, методов и технологий ситуационного управления, а так же учета этого использования в квалиметрических процедурах.

**В заключении** представлены формулировки семи научных результатов исследования, определены перспективные направления дальнейших исследований в области оценки и улучшения качества ПК для АСДПП авиатранспортом.

### **III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Представленная диссертационная работа посвящена решению важной научно-технической проблемы улучшения качества программных комплексов АСДПП на авиатранспорте на основе разработки концепции и научно-методического инструментария повышения их результативности, использующих принципы ситуационного управления. В диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи исследования.

1. Предложена обобщенная научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента, которая даёт методологическую основу для: системного повышения результативности диспетчеризации авиатранспорта на принципах и технологиях ситуационного управления; улучшения качества соответствующих ПК диспетчеризации пространственных процессов.

2. Разработан метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса путем сравнения изменения параметров реального пространственного процесса с программным эталоном, моделируемым согласно типизированного параметрического сценария. Это позволило предложить инструментарий создания и программную технологию моделирования сценариев типовых пространственных процессов диспетчеризации авиатранспорта.

3. Предложен метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте, основанный на применении аппарата системно-информационного анализа в предметной области диспетчеризации и обеспечивающий получение необходимой и качественной оценки уровня взаимной безопасности таких процессов на основе комплексного анализа пространственной ситуации.

4. Разработан метод оценки качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте, дающий возможность, в условиях информационной недостаточности входных квалиметрических данных,

получать заключение о достигаемом уровне качества разрабатываемого программного обеспечения для указанных комплексов, определять аномалии в развитии этого обеспечения и шаги по их устранению.

5. Синтезирован и исследован метод репрезентации вербальных оценок показателей качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте, который позволяет принимать решения о качестве ПК СУ для АСДПП авиатранспортом в условиях нечеткости исходной информации от экспертов и оперировать при работе с экспертами лингвистическими переменными, а так же количественно анализировать и учитывать степень нечеткости получаемых оценок качества ПК СУ авиатранспортом.

6. Предложен метод повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода, позволяющий значительно улучшить значения показателей надежности указанных комплексов за счет повышения уровня агрегирования ранее верифицированных компонентов программного кода, а так же обеспечить систематизированное формирование библиотек программных реализаций прикладных функций АСДПП.

7. Разработан метод улучшения экономичности разработки ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте, дающий возможность добиться снижения итеративности технологии создания этих комплексов за счет системного накопления и корректного повторного использования баз готовых программных компонент.

Проведена разработка и внедрение в систему менеджмента качества предприятия-разработчика программного обеспечения систем диспетчеризации пространственных процессов линейки стандартов по реализации процедур повышения результативности, улучшения качества программной продукции для АСДПП на транспорте и формированию баз программных компонент повторно используемого кода для систем ситуационного управления пространственными процессами.

Проведена апробация предлагаемых научно-методической концепции и методологического инструментария при проектировании и реализации прикладного программного обеспечения, как в научном учреждении Российской академии наук, так и в ходе научной и педагогической деятельности при подготовке магистров и специалистов, реализуемых в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения. Применение предлагаемых методов и составляющих их отдельных процедур, приемов и операций позволили повысить результативность создаваемых программно-технических средств поддержки диспетчеризации, повысить эффективность разработки программного обеспечения на принципах ситуационного управления, что в итоге позволяет обеспечить заданные требования к качеству соответствующих ПК управления авиатранспортом.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

### Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. Мичурин, С.В. Методы повышения результативности ситуационного управления пространственными процессами / С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2014. №2. С.47-56
2. Мичурин, С.В. Автоматизированные системы ситуационного управления и диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте / С.В. Мичурин, Я.А. Ивакин, М.С. Смирнова // Радиопромышленность. 2015. №4. С.56-64
3. Мичурин, С.В. Автоматизированное управление эффективностью пространственных процессов на базе подходов ситуационного менеджмента / С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2015. №8. С.65-72
4. Мичурин, С.В. Повышение качества управления пространственными процессами авиатранспорта / С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2015. №8. С.79-86.
5. Мичурин, С.В. Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте / С.В. Мичурин // Радиопромышленность. 2015. №4. С.37-45.
6. Мичурин, С.В. Картирование потоков создания ценности на этапах жизненного цикла продукции / С.В. Мичурин, Е.А. Фролова, В.С. Чмыхин, А.С. Коновалов // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №2. С.73-77.
7. Мичурин, С.В. Структура системы требований квалиметрической оценки ситуационного управления пространственными процессами / С.В. Мичурин, Я.А. Ивакин, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №6. С.79-86
8. Мичурин, С.В. Результативность и качество программных комплексов ситуационного управления для автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта / С.В. Мичурин, Я.А. Ивакин // Информационно-управляющие системы. 2016. №4(83). С. 26-38.
9. Мичурин, С.В. Структурирование информационных показателей безаварийности пространственных процессов / С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №9. С.44-53
10. Мичурин, С.В. Анализ точности определения местоположения источников радиоизлучения пассивной двухпозиционной радиотехнической системой / С.В. Мичурин, Е.Г. Борисов, С.Г. Егоров, И.С. Мартемьянов // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №9. С.98-109
11. Мичурин, С.В. Комплексование оценок рельефа местности, полученных бортовым радиолокатором в моноимпульсном режиме с геоинформационными данными / С.В. Мичурин, Д.М. Коробочкин, Ю.А. Петров // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №9. С.79-87

### Монографии

12. Мичурин, С.В., Алексеев, Г.В., Степанов, А.Г. Математические модели и методы. СПб: Международный банковский институт, 2003. 122 с.
13. Мичурин, С.В., Семенова, Е.Г. Методы управления качеством программных комплексов диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте / Под ред. проф. Ивакина Я.А. // СПб.: ГУАП. 2015. 247 с.

### Статьи и материалы конференций

14. Michurin, S.V., Chmykhin, V.S. Computing resources distribution assessment on application of virtual machine technology / S.V. Michurin, V.S. Chmykhin // Tbilisi: Anticrisis Center of Security Problems, 2015. p.16-22.
15. Мичурин, С.В., Смирнова, М.С. Primary reorganization of server park in computer network on application of virtual machine technology. Tbilisi: Anticrisis Center of Security Problems, 2015. – p.23-31
16. Мичурин, С.В., Оводенко, А.А., Буравлев, С.И. Информационная избыточность робастного алгоритма выделения сигналов доплеровской частоты / С.В. Мичурин, А.А. Оводенко, С.И. Буравлев // Тезисы доклада на X симпозиуме по проблеме избыточности в информационных системах. Москва, 1989. С. 14-19
17. Мичурин С.В., Шепета, А.П., Фукс, М.М. Синтез формирующих фильтров амплитудных флюктуаций эхо-сигналов надводных объектов / С.В. Мичурин, А.П. Шепета, М.М. Фукс // Судостроительная промышленность. Серия ВТ. 1990, Вып. 25. С.112-118.
18. Мичурин, С.В., Шепета, А.П., Фукс, М.М. Синтезирование фильтров амплитудных флюктуаций эхо-сигналов надводных объектов / С.В. Мичурин, А.П. Шепета, М.М. Фукс. Л.; ЛИАП. Межвузовский сб. науч. труд., 1990. С. 114-120.
19. Мичурин, С.В., Оводенко, А.А., Проектирование чувствительного элемента некогерентной системы АСД в условиях помеховой неопределенности. Л.; ЛИАП. Межвузовский сборник, 1991. С. 19-24
20. Мичурин, С.В. Математическая модель эхо-сигнала от морской поверхности / С.В. Мичурин. Л.; ЛИАП. Межвузовский сборник, 1991. С. 111-124
21. Мичурин, С.В., Шепета, А.П., Фукс, М.М. Проектирование формирующих фильтров для моделирования эхо-сигналов надводных объектов / С.В. Мичурин, А.П. Шепета, М.М. Фукс. Л.; ЛИАП. Межвузовский сборник, 1991, с. 112-127
22. Мичурин, С.В., Иванов, В.Н., Кутузова, Т.Ф. Оценка инвестиционной привлекательности объектов промышленной интеллектуальной собственности и способы управления ею: роли государства / С.В. Мичурин, В.Н. Иванов, Т.Ф. Кутузова // Материалы Всерос. научно-практич. Конференции. Краснодар, 2005. С. 97-102
23. Мичурин, С.В., Заболотский, В.П., Степанов, А.Г. Вопросы информационной безопасности в базовой системе информатики / С.В. Мичурин, В.П. Заболотский, А.Г. Степанов // IV СПб межрегион. конференция «Информационная безопасность регионов России». СПб, 2005, С. 44-49.

24. Мичурин, С.В. Приборостроение в экологии и безопасности человека / С.В. Мичурин // Труды Пятой Международной конференции «Приборостроение в экологии и безопасности человека» (ПЭБЧ'7) / - СПб.: ГУАП, 2007, С. 79-87

#### **Патенты и авторские свидетельства**

25. Мичурин, С.В., Бочкарева, С.В., Волков, В.Ю., Елисеев, А.А., Оводенко, А.А. Авторское свидетельство № 180235 Приоритет от 27.05.81. Спецтема.

26. Мичурин, С.В., Волков, В.Ю., Елисеев, А.А., Когинов, М.В., Николаева, М.Г. Авторское свидетельство № 192594 Приоритет от 02.11.82. Спецтема

27. Мичурин, С.В., Волков, В.Ю., Елисеев, А.А., Николаева, М.Г. № 200143 Приоритет от 26.05.83. Спецтема

#### **Учебно-методические работы**

28. Мичурин С.В., Фалеев, С.П., Степанов, А.Г. Система автоматизации программирования Квейсик для систем автоматического управления с микро ЭВМ, Л.: ЛИАП, 1986. 30 с.

29. Мичурин, С.В., Култышев, Е.И., Шепета, А.П., Красильникова, О.И. Проектирование радиоэлектронных систем управления. Л.: ЛИАП, 1993. 103 с.

30. Мичурин, С.В. Подготовка документов с использованием ЭВМ. Текстовый процессор MULTI-EDIT. СПб, ГААП, 1994. 49 с.

31. Мичурин, С.В. Автоматизация учета хозяйственных операций QESTOR. СПб.: ГААП, 1995. 84 с.

32. Мичурин, С.В. Обмен информацией через электронную почту. Пакет UURC. СПб.: ГААП, 1995. 72 с.

33. Мичурин, С.В. Система автоматизация учета операций QESTOR. СПб.: ГААП, 1995. 63 с.

34. Мичурин, С.В., Зуева, Н.В., Конт, Е.И. Информатика. Системное программное обеспечение. СПб.: ГААП, 1996. 89 с.

35. Мичурин, С.В. Информационные технологии управления. Табличный процессор QUATTRO PRO. СПб.: ГААП, 1997. 98 с.

36. Мичурин, С.В. Информационные технологии управления. Табличный процессор EXCEL. СПб.: ГААП, 1998. 57 с.

37. Мичурин, С.В., Степанов, А.Г., Зуева, Н.В., Харитоновна, Ю.Г. Информатика. СПб.: ГУАП, 2000. 46 с.

38. Мичурин, С.В., Степанов, А.Г. Информатика и программирование. СПб.: ГУАП, 2004. 120 с.