

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**  
**«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического**  
**приборостроения»**

---

Экз. \_\_\_\_

На правах рукописи



Смирнова Мария Сергеевна

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА**  
**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ**  
**МУЛЬТИКОМПОНЕНТНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Специальность: 05.02.23 - Стандартизация и управление качеством продукции

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
Доктор технических наук, профессор  
Лауреат Премии Правительства Российской Федерации  
Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации  
Семенова Е.Г.

Санкт-Петербург - 2021

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Анализ современных методов и средств квалиметрии комплексов управления мультикомпонентными системами. Постановка задач исследования .....</b>	<b>15</b>
1.1. Современное состояние предметной области качества комплексов управления мультикомпонентными системами .....	15
1.2. Результативность технологической системы гибкой разработки программных комплексов управления мультикомпонентными системами и пути её повышения .....	38
1.3. Фактор влияния радиоэлектронной компонентной базы на качество программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентных систем .....	58
1.4. Постановка научной проблемы и частных задач диссертационного исследования .....	62
1.5. Выводы по I главе .....	70
<b>Глава 2. Методологические основы улучшения качества комплексов управления мультикомпонентными системами .....</b>	<b>75</b>
2.1. Научная концепция контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами ....	75
2.2. Методологический базис квалиметрических требований к программно-аппаратным комплексам управления мультикомпонентными системами .....	106
2.3. Рационализация процесса улучшения качества комплексов управления мультикомпонентными системами .....	119
2.4. Выводы по II главе .....	129
<b>Глава 3. Метод рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами .....</b>	<b>133</b>
3.1. Рекурсивный характер разработки программных комплексов управления мультикомпонентными системами .....	133
3.2. Модель рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами .....	137
3.3. Методика рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами .....	164
3.4. Выводы по III главе .....	169
<b>Глава 4. Методологические средства улучшения качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами .....</b>	<b>173</b>
4.1. Комплекс моделей негативных несоответствий по показателям качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами .....	173
4.2. Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами .....	212

4.3. Метод управления экономичностью проекта разработки программных комплексов управления мультикомпонентными системами .....	230
4.4. Выводы по IV главе .....	261
<b>Глава 5. Реализация проектов по разработке комплексов управления мультикомпонентными системами. Оценка эффективности результатов исследования .....</b>	<b>264</b>
5.1. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами .....	264
5.2. Диссертационный эксперимент и проверка результатов исследования .....	281
5.3. Оценка эффективности научных результатов исследования .....	286
5.4. Выводы по V главе .....	296
<b>Заключение.....</b>	<b>299</b>
<b>Список сокращений и условных обозначений.....</b>	<b>303</b>
<b>Словарь терминов.....</b>	<b>304</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>310</b>
<b>Приложение А .....</b>	<b>325</b>
<b>Приложение Б .....</b>	<b>334</b>
<b>Приложение В .....</b>	<b>350</b>
<b>Приложение Г .....</b>	<b>353</b>
<b>Приложение Д.....</b>	<b>389</b>

## Введение

**Актуальность работы.** Улучшение качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами позволяет повысить результативность риск-ориентированных процессов технологической системы гибкой разработки программного обеспечения.

Федеральный проект «Цифровые технологии» в рамках национального проекта «Цифровая экономика» ставит задачу создания благоприятных условий для развития и внедрения цифровых технологий на основе отечественных разработок за счет комплексной системы мер государственной поддержки ИТ-стартапов и разработчиков программного обеспечения, а также стимулировании спроса компаний различных отраслей экономики на ИТ-решения. Правительством Российской Федерации приняты Государственная программа РФ «Развитие промышленности и повышения ее конкурентоспособности» (ред. 28.01.2021), Распоряжение Правительства РФ от 18.10.2018 №2253-р «Об утверждении стратегии развития отрасли информационных технологий в РФ на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года» постулирующие необходимость повышения результативности применения информационных технологий в различных отраслях производства.

Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Председателем Правительства РФ) предусматривает создание интеллектуальных транспортных систем автоматизированного и автоматического управления воздушными транспортными средствами, в том числе беспилотными, а также их группами; алгоритмов и программного обеспечения оценки рисков в транспортных системах; математического и программного обеспечения проблемно-ориентированных информационно-управляющих систем интеллектуальных роботов различных типов (в том числе беспилотных летательных аппаратов).

Достижение высокой эффективности и безопасности совместного применения современных распределенных роботизированных комплексов являются целью создания соответствующих комплексов управления мультикомпонентными системами (МКС) - системами взаимосвязанных по целям функционирования роботов. Такие комплексы обладают беспрецедентным уровнем программно-технологической сложности используемого прикладного программного обеспечения (ППО). Именно функционал программных комплексов (ПК) определяет прикладные возможности современных ПАК управления МКС. Сегодня доминирующей технологией (технологической системой) создания ПК управления МКС для указанных ПАК является SCRUM-технология, реализующая соответствующую методологию гибкой разработки программного обеспечения. Она характеризуется последовательно-итеративным улучшением качества создаваемых программных комплексов и ориентирована не на получение полновесного заключения о достигнутом уровне качества на каждой итерации разработки, а на оперативный анализ тенденции в изменении качества, поиск соответствующих недостатков. Однако, вся совокупность современных методов, методологических средств и соответствующих им прикладных методик управления качеством программного обеспечения для авиационного приборостроения ориентирована именно на формирование точного и объемлющего заключения о текущем уровне качества. Это вызывает к жизни использование методологически-сложного и алгебраически-громоздкого математического аппарата современной квалиметрии, что объективно блокирует его применимость в рамках методологии гибкой разработки программного обеспечения.

Применение системы менеджмента качества (СМК) является стратегическим решением для организации, которое может помочь улучшить результаты ее деятельности и обеспечить прочную основу для инициатив, ориентированных на устойчивое развитие. 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 и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем.

**Степень разработанности темы** исследования, направленного на разработку методологически целостного аппарата оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания ПК для ПАК управления МКС, определяют результаты научных работ ведущих отечественных и зарубежных ученых в области квалиметрии программного обеспечения, современной информатики и алгоритмики, теории управления. Методологической базой для подетальной проработки темы явились научные результаты следующих исследовательских направлений:

– теоретическая квалиметрия, базирующаяся на исследованиях существующих практик системного улучшения качества продукции, описанная и развитая в научных работах А.В. Гличева, Г.Г. Азгальдова, Э.П. Райхмана, В.П. Панова, А.Г. Варжапетяна, Е.Г. Семеновой, В.М. Балашова, В.К. Федюкина, Н.Н. Рожкова, Г.И. Коршунова, А.П. Ястребова, Э. Деминга, А.У. Шухарта, К. Исикавы, Д. Джурана, Д. Коудена, Х.Й. Миттага, Х. Ринне, и др. Результаты данного научного направления выступили в роли базиса для определения архитектоники предлагаемой системы методов и средств улучшения качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью разрешения объективного противоречия между, с одной стороны, ростом требований к МКС, последовательно-итеративным характером разработки сложных программных комплексов для ПАК управления МКС в рамках доминирующей технологии процесса их создания и, с другой стороны, громоздким научно-методическим аппаратом оценки, улучшения их качества.

**Цель работы.** Цель диссертационной работы заключается в улучшении качества ПАК управления МКС на основе применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности риск-ориентированных процессов технологической системы создания ПК для них за счет полноценной реализации и усовершенствования методологии гибкой разработки программного обеспечения управления мультикомпонентными системами.

**Объект исследования** – программно-аппаратные комплексы управления мультикомпонентными системами.

**Предмет исследования** – результативность риск-ориентированных процессов технологической системы гибкой разработки программных комплексов для ПАК управления МКС.

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

1. Обоснование, формулирование и структурирование научно-методической концепции СМК, контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами;
2. Разработка методологического базиса квалиметрических требований к ПАК управления МКС;
3. Уточнение критериальной базы и разработка метода рекурсивной оценки качества ПК управления МКС;
4. Разработка комплекса моделей системы менеджмента качества организации несоответствий процессов по показателям качества ПК управления МКС;
5. Разработка метода ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС;
6. Обоснование и разработка методов формирования научно-технических предложений по обеспечению качества обособленных компонент указанных программно-аппаратных комплексов и управления экономичностью проекта их разработки;

7. Теоретическая и экспериментальная проверка эффективности предлагаемых научно-технических решений.

**Методы исследований.** Для решения задач диссертационного исследования использованы методы экспертно-статистического оценивания СМК, качественно-количественного анализа, объектно-ориентированного подхода к разработке программных комплексов и систем, теории вероятностей и оценки случайных величин, различные методы построения интегральных показателей качества, процессный подход к разработке ПК управления МКС, риск-менеджмента, а также квалиметрические методы анализа сложных программ.

**Тематика работы** соответствует областям исследования паспорта научной специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции»: 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».

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

1. Концепция контроля процессов создания и улучшения качества ПАК управления МКС;
2. Методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС;
3. Метод рекурсивной оценки качества ПК управления МКС;
4. Комплекс моделей системы менеджмента качества организации и негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС;



5. Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС;
6. Метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС;
7. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС.

**Научной новизной** обладают следующие результаты диссертационной работы:

1. Научно-методическая концепция контроля СМК процессов создания и улучшения качества ПАК управления мультикомпонентными системами в отличие от известных позволяет развить методический аппарат совершенствования технологической системы создания комплексов управления МКС за счет полноценного применения методологии гибкой разработки прикладного программного обеспечения для указанных комплексов.

2. Методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС обеспечивает при внедрении СМК возможность выйти на более высокий уровень типизации процедур задания облика и разработки указанных комплексов путем более полного учета многофакторности процессов их проектирования, создания и практического применения.

3. Метод рекурсивной оценки качества ПК управления МКС в отличие от известных содержит аппарат квалиметрического оценивания указанных ПК, адаптивный к технологической системе процессов разработки, определяемой методологией гибкой разработки программного обеспечения, за счет учета её итеративности и многоэтапности.

4. Комплекс моделей негативных несоответствий процессов СМК по показателям качества ПК управления МКС впервые обеспечил переход на качественно новый уровень процесса целенаправленного выявления недостатков компонент программного кода за счет их обобщения и типизации.

5. Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС позволяет перейти на более высокий уровень обоснованности

проектных решений при создании указанных комплексов, за счет введения отношений строгого порядка между стратегиями улучшения качества в базовой технологии их разработки.

6. Метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС позволяет контролировать уровень итеративности технологического процесса создания ПК за счет снижения риска необоснованных и нецелесообразных трудозатрат.

7. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС реализует обоснованное целеполагание в процессе разработки указанных ПАК за счет агрегирования метода структурирования функций качества и механизмов биматричного представления в состав технологической схемы их разработки.

**Обоснованность и достоверность.** Обоснованность научных результатов обусловлена базированием на общих методах оценки и улучшения качества программного и информационного обеспечения, она определяется корректным применением апробированного в научной практике исследовательского и аналитического аппарата. Достоверность результатов проведенных исследований обеспечивается использованием современных методик обработки исходной информации и подтверждена совпадением результатов исследования с экспериментальными данными, практической реализацией на предприятиях – разработчиках программного обеспечения (ПО) для управления МКС.

**Теоретическая значимость** полученных в диссертации результатов состоит в:

- развитии современной квалиметрии программного обеспечения и квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки программного обеспечения;

- расширении возможностей процессного подхода в обосновании проектных решений по созданию высокотехнологичных робототехнических комплексов.

**Практическая значимость** полученных в диссертации результатов состоит в:

- повышении результативности технологической системы разработки ПАК управления МКС за счёт совершенствования квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки ПО;
- совершенствовании аналитических методов оценки и улучшения процессов обеспечения качества ПК управления МКС в рамках методологии гибкой разработки программного обеспечения, в методологическом определении путей улучшения качества этих комплексов;
- упрощении процессов гибкой разработки программного обеспечения и управления качеством ПК управления МКС в рамках технологической системы их создания и улучшения качества;
- расширении возможностей по управлению итеративностью выработки проектных решений при разработке программного обеспечения ПК управления МКС;
- внедрении в технологию создания ПК управления МКС научно-методических средств, основанных на принципах процессного подхода, риск-менеджмента и позволяющих обеспечить рационализацию усилий разработчиков соответствующего ПО;
- уменьшении трудозатрат на разработку специализированных компонент кода ПК управления МКС на 3-8%;
- уменьшении трудозатрат на разработку ПК управления МКС (среднего времени разработки и отладки программного модуля реализации типовой прикладной функции на 15-20%);
- уменьшении трудозатрат на сопровождение (среднего времени перекомпоновки и верификации типового программного модуля на 5-10 %).

Разработаны документированные процедуры в виде линейки типовых стандартов организации СТО-ПАНЕ.057-2019 «Обеспечение качества программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов», СТО-ПАНЕ.061.0-2019 «Процесс оценки и улучшения качества

программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов» регламентирующие правила и процедуры управления качеством соответствующих программных продуктов в ходе их разработки, а также роли исполнителей и основные операции, которые доступны в рамках роли. Стандарты прошли утверждение и внедрение на предприятии-разработчике соответствующего программного обеспечения – в ОАО «ЦНПО «Ленинец» (г. Санкт-Петербург) в 2019 г.

**Личный вклад автора** состоит в непосредственной разработке совокупности методологических средств повышения результативности и улучшения процессов обеспечения качества ПАК управления МКС, прикладных методов оценки и совершенствования отдельных показателей. Автором также самостоятельно разработаны программные средства для апробации 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 принимала личное участие в апробации и внедрении результатов исследования, самостоятельно реализовала публикацию результатов диссертации.

#### **Реализация работы.**

Результаты диссертационной работы нашли применение при выполнении научно-исследовательских работ при участии автора:

1. НИР №03200900691 на тему «Оптимизация характеристик качества процесса разработки, производства изделий предприятия» (2007-2008 гг.);
2. НИР №03200901206 на тему «Менеджмент качества при проектировании и разработке новой продукции и модернизации выпускаемой продукции» (2008 г.);
3. НИР №02201153985 на тему «Разработка критериев контроля качества технологического процесса производства сложных технических систем» (2010г.);
4. НИР №02201258800 на тему «Исследование и разработка методов и инструментов управления качеством проектов» (2011 г.);

5. НИР № 03201254448 на тему «Исследование и разработка современных методов управления качеством проектов» (2011 г.);
6. НИР №216030120070 на тему «Выполнение составной части научно-исследовательской работы «Комплексный анализ и разработка инструментария реализации целей и задач подпрограммы «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на период до 2025 года» (2015 г.);
7. НИР №1.24.19 на тему «Исследование факторов инновационного развития в рамках концепции экономики качества» (2018-2019 гг.);
8. Программа развития системы подготовки кадров для оборонно-промышленного комплекса в образовательных организациях высшего образования, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации «Новые кадры ОПК» (2019-2020 гг.).

Результаты диссертационной работы апробированы и протестированы при их внедрении в процессы разработки и создания прикладного программного обеспечения для ПАК управления специализированными МКС в ОАО «ЦНПО «Ленинец», АО «НИИ «Рубин», ПАО «ИНТЕЛТЕХ», АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР», ООО «ОМЗ – Информационные технологии», АО «ОКЕНИТ», что подтверждено актами внедрения.

Результаты исследования также внедрены в образовательный процесс ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 8 международных и 3 других научных конференциях.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 37 работ, из них: 9 - без соавторов, в том числе 15 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, 7 статей в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, 15 работ в других изданиях.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря

терминов, списка использованной литературы, содержащего 139 наименования, и пяти приложений. Основной текст диссертации представлен на 324 страницах, включая 46 таблиц и 63 рисунка. Общий объем диссертационной работы с учетом приложений составляет 402 страницы.

## **Глава 1. Анализ современных методов и средств квалиметрии комплексов управления мультикомпонентными системами. Постановка задач исследования**

### **1.1. Современное состояние предметной области качества комплексов управления мультикомпонентными системами**

#### **1.1.1. Элементы мультикомпонентных систем и их применение в составе группировок**

Беспилотная авиация с каждым годом занимает всё больший сектор традиционных авиационных услуг, обеспечивает появление инновационных авиационных услуг на рынке и пр. Для многих авиастроительных предприятий элементы многокомпонентных систем (в частности, беспилотные летательные аппараты) становятся основной продукцией, постоянно качественно и количественно растёт рынок услуг, предоставляемых с помощью роботизированных мобильных средств. Соответственно, сегодня регистрируется бурный рост проектантов, разработчиков и производителей авиационных беспилотных мобильных средств, а также создателей компонентной базы и программного обеспечения для указанных средств, т.е. для элементов мультикомпонентных систем. Данная сфера приборостроения сегодня находится в фокусе научных исследований, например, таких как [10,65,71,95], характеризуется стремительным ростом инновационных разработок [9,54-57,72,109], неустойчивостью терминологии [61,66,67,88,120] и естественной для развивающихся отраслей знания противоречивостью. Все аспекты создания и применения элементов МКС являются областями практического приложения современного научного знания, начиная от специфических вопросов аэродинамики [60,96] и заканчивая научной организацией промышленного производства составных частей этих летательных аппаратов [46,48,76,77].

Рассматриваемая в работе область современного авиационного приборостроения неотрывно связана с робототехникой: современный элемент МКС - либо является автономным роботом, т.е управляется с помощью

бортового программно-аппаратного комплекса, либо дроном, то есть частично роботизированной авиасистемой, управляемой дистанционно оператором со стационарного или мобильного наземного пульта.

На сегодняшний день единой общепризнанной и устоявшейся классификации элементов МКС, как и стандартизированной системы понятий данной бурно развивающейся научной и предметной области, не существует. В частности, отряд распределенных роботизированных комплексов на сегодняшний день представлен устройствами (приборами) от наладонных размеров до дронов, сравнимых по массогабаритным и функциональным характеристикам с полноценными самолетами пилотируемой авиации. В работе [88] сделана беспрецедентная попытка осуществить классификацию по различным основаниям и добиться единства в терминологии этой предметной области. Признавая недостаточность указанной попытки, автор данного исследования придерживался систем классификации и понятийного аппарата по элементам МКС, применительно к этой области именно из работы [88]. Из указанной классификации в ходе диссертационного исследования было установлено, что современный парк таких летательных аппаратов характеризуется непрерывно растущим числом типов и видов, ростом числа и качества решаемых задач, наращиванием номенклатуры исполнений и уровня роботизации. Вместе с тем, при обособлении элементов МКС с высоким уровнем роботизации основных функций управления (ЛА последних 5-10 лет разработки) можно выделить относительно устойчивую функциональную структуру системы управления МКС в составе беспилотного авиационного комплекса (БАК).

Аппаратно система управления элементами МКС в составе БАК реализуется в виде совокупности:

- наземной подсистемы дистанционного управления, включающей в себя соответствующий программно-аппаратный комплекс (ПАК), комплект телекоммуникационной аппаратуры и пр.;



- интегрированного компонента радиоэлектронной аппаратуры на борту (Бортовая РЭА).

Конкретные варианты исполнения аппаратных реализаций систем управления элементов МКС в составе БАК сильно разнятся в зависимости от предназначения, целей и задач применения каждого конкретного авиационного комплекса. Примеры различных вариантов реализации наземной подсистемы дистанционного управления БАК, предназначенных для решения различного круга задач проиллюстрирован на рисунке 1.1.1.



Рисунок 1.1.1 – Примеры различных вариантов реализации наземной подсистемы дистанционного управления БАК

Функционально в составе системы управления современных элементов МКС в составе БАК можно выделить следующий обязательный набор подсистем [88]:

- навигации и пилотирования;
- телекоммуникаций;
- независимой телеметрии и идентификации;
- обеспечения взлета и посадки;

- мониторинга местоположения и контроля обстановки;
- реализации целевого назначения (т.н. полезная нагрузка);
- другие специфические функциональные подсистемы.

Детализированный состав и конкретизированный функционал указанных подсистем варьируется в конкретных исполнениях элементов МКС очень сильно. Это нетрудно проследить по первоисточникам [46,48,76,77,88,95,96]. Сложность и габаритность конкретного исполнения определяется спецификой целевого предназначения, в частности, и БАК в целом. Соответственно, варьируются и варианты конкретизированных исполнений всей системы управления в составе БАК. В Приложении А приведена краткая характеристика вариантов построения системы управления в составе БАК, как некоторая обобщающая описательная модель.

Вышеприведённый перечень подсистем БАК, характерных также для специализированных ПАК управления МКС, применяемых для разнородных роботизированных группировок [3], дает возможность судить о том, что основная функциональность в роботизированной выработке решений по управлению элементами МКС, а также поддержке действий их операторов реализуется соответствующим программным обеспечением. Иными словами, особым направлением в сфере проектирования и создания авиационной робототехники является направление разработки прикладного программного обеспечения для управления элементами МКС. Именно возможности и качество разработки ППО для ПАК управления МКС, включая все его составные части, определяет уровень роботизации, уровень интеллектуализации в поддержке операторов управления в БАК, а, в конечном итоге, потенциал и передовой уровень функционала авиационной робототехники. Из приведенной в Приложении Б принципиальной модели управления автономными элементами МКС при его навигации с использованием цифровых картографических наборов данных можно понять концептуальный уровень сложности процессов целенаправленного управления средствами авиационной робототехники, а соответственно и сложности ППО, занятого в этом процессе.

В последнее десятилетие на передний край разработки и комплексирования различных элементов МКС в составе БАК стала выдвигаться проблематика сбалансированного создания разнородных роботизированных группировок. По мере повышения уровня роботизированности повышается уровень сложности задач, которые приходится решать с их помощью. Однако, объективная необходимость использовать в различных частных подзадачах сложных задач элементы МКС принципиально разных типов и классов ведет к тому, что при реализации реальных и длительных операций с применением БАК применяют группировки разнотипных роботов. Например, проведение спасательных операций МЧС предусматривает одновременное применение элементов МКС для решения задач вскрытия обстановки (разведки), ретранслятора, дрона для доставки груза первой необходимости и пр. Нахождение в одной зоне применения разнотипных элементов МКС, обладающих адаптивным роботизированным функционалом, требует специализированного управления их маневрами в пространстве. Это управление реализуется посредством специализированных ПАК управления МКС, например таких как [3], и призвано обеспечить взаимную безопасность и высокую эффективность решения ими поставленной прикладной задачи.

Последние годы также получила активное развитие тенденция использования т.н. групп однотипных мини-авиароботов для создания в воздухе распределенных сетей мониторинга параметров. (Каждый миниавиаробот механически автономен и помещается на ладонь человека, но вся группа (рой) таких аппаратов координируется в пространстве относительно единой реперной точки и демонстрирует единое «поведение», задаваемое оператором.) Такие группы могут входить в состав разнородных МКС, что также значительно усложняет процесс целенаправленного управления такими группировками.

Целенаправленное осуществление указанного управления описанными группировками на современном уровне уже невозможно без применения ПАК УГ и специальных программных комплексов в их составе. Программные комплексы управления группировками (ПК УГ) разнородных МКС

представляют собой высокотехнологичные программные изделия с многоуровневой функциональной архитектурой. Они обладают беспрецедентным уровнем программно-технологической сложности. Именно качество их разработки и создания определяет уровень целевой эффективности управления разнородной группировкой элементов МКС и безопасности их совместного применения. Следовательно, именно анализ специфики разработки и построения ПК управления МКС позволил в ходе диссертационного исследования выявить основные пробелы и недостатки в технологической системе обеспечения их качества, что раскрыто в пп.1.1.2.

Резюмируя вопросы применения элементов МКС в составе группировок, можно свести вопросы формирования системы управления указанными аппаратами в рамках введенного категориального аппарата к схеме, показанной на рисунке 1.1.2.

Ключевая роль программного обеспечения в обеспечении целевой эффективности и пространственной безопасности применения авиационной робототехники логически обусловил анализ составляющих качества ПАК управления МКС как объекта диссертационного исследования.

#### 1.1.2. Определяющий характер ППО в формировании функциональных возможностей и качества ПАК управления МКС

Прикладная эффективность современных программно-технических систем в любой сфере деятельности практически полностью определяется функциональностью их программного обеспечения. ПАК управления МКС не являются исключением в этом ряду указанных систем. ПАК управления МКС как правило, для обеспечения мобильности исполнения создаются на базе соответствующих средств передвижения, например [3], и аппаратно представляют собой взаимоувязанную совокупность средств вычислительной техники и телекоммуникационных средств.

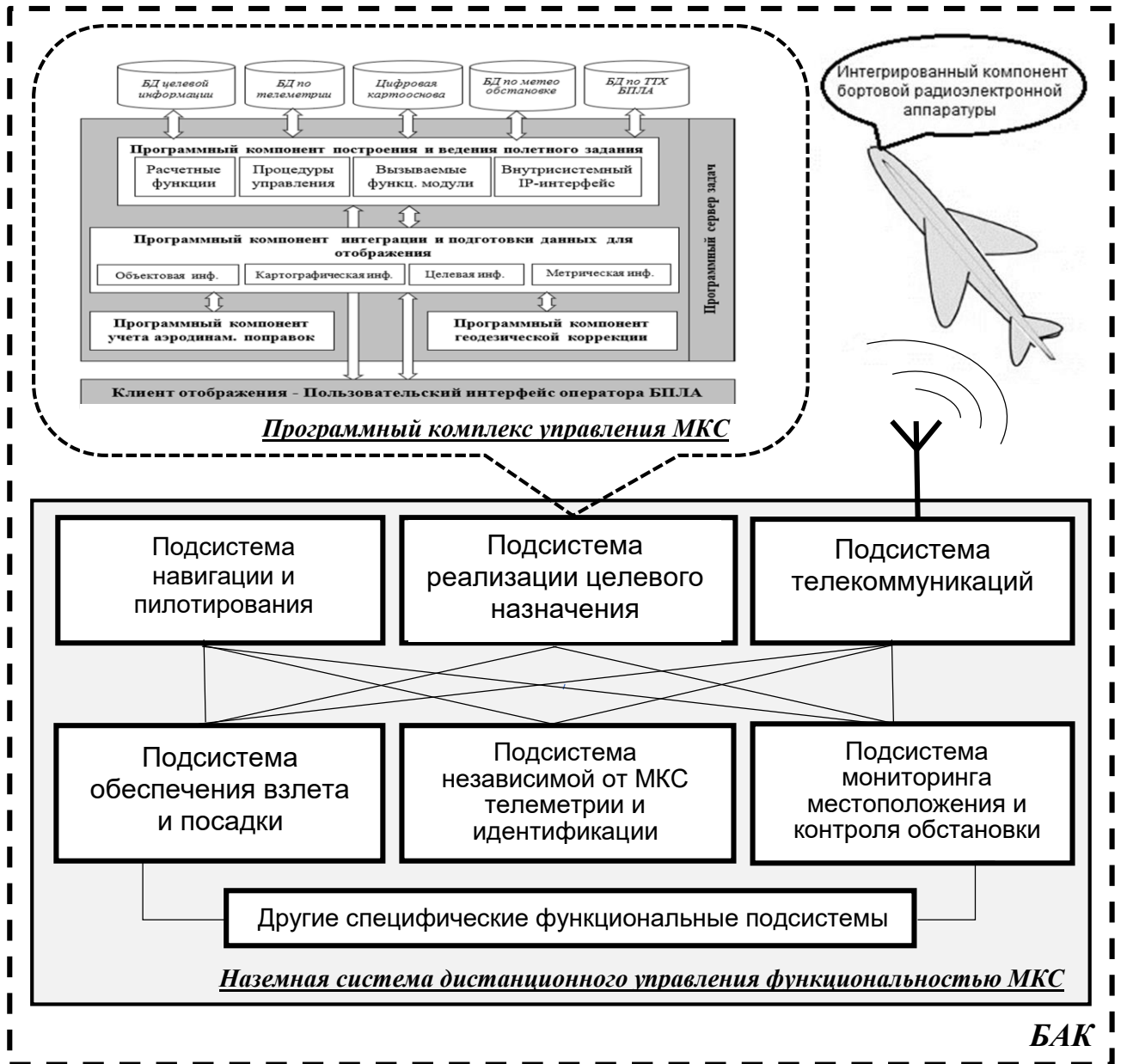


Рисунок 1.1.3. – Обобщенная схема управления элементами МКС, представленная в базовых категориях диссертационного исследования

На такой аппаратной платформе становится возможным развернуть соответствующее общесистемное и прикладное программное обеспечение, а именно ПК управления МКС, которые определяют функциональные возможности в управлении группировками разнородных элементов МКС, а также элементов во взаимодействии с наземными (подводными и пр.) средствами робототехники. Уже на основе развернутого ПАК управления МКС может функционировать организационная компонента системы управления

группировкой разнородных элементов МКС – операторы управления, объединяемые в соответствующий расчет и т.д.

На сегодняшний день, строго устоявшейся терминологической, понятийной базы и стандартизированного соотношения базовых категорий в сфере создания и применения ПАК управления МКС не существует – данная научная область находится в стадии бурного развития и формирования. Однако, анализ первоисточников [3,61,66,67,88,120] позволил схематизировать соотношение основных категорий рассматриваемой предметной области в рамках данного диссертационного исследования, по принципу “включения в себя”, как это показано на рисунке 1.1.4. Именно такой понятийной этимологии предметной области ПАК управления МКС автор придерживался в рамках текущего диссертационной работы.

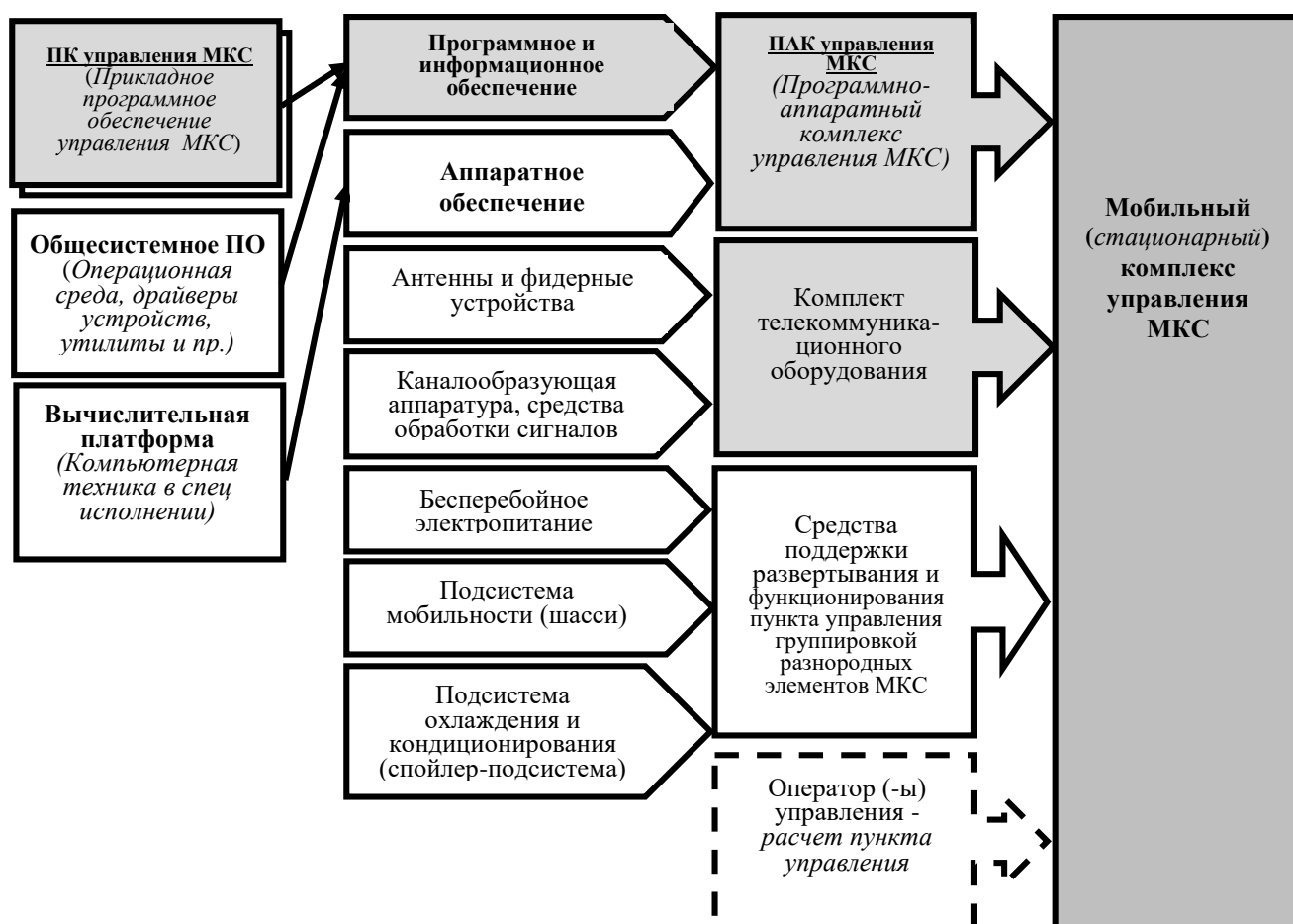


Рисунок 1.1.4. – Схема соотношения основных категорий предметной области исследования, принятая в работе

Из приведенной схемы видно, что наиболее значимой составляющей ПАК управления МКС, определяющей его функциональные возможности и потребительское (в данном случае – приборостроительное) качество является их прикладное программное обеспечение, а именно ПК управления МКС. Именно качество их разработки, эффективность соответствующих подсистем качества технологических систем разработки и определяет сформированность качества комплексов пространственного управления разнородными группировками элементов МКС. При этом, вычислительная платформа для ПАК управления МКС и бортовой РЭА на элементах МКС традиционно комплектуется на базе универсальной элементной базы микрорадиоэлектроники и радиотехники, что показано в п.1.3.

#### 1.1.3. Программные комплексы управления МКС и их качество

Первоначально совместное использование разнородных (разнотипных) элементов МКС реализовывалось за счет параллельного развертывания двух и более БАК в зоне проведения операции и координации организационными процедурами работы соответствующих операторов управления элементами МКС. По мере развития и совершенствования аппаратно-программных средств управления в БАК, соответствующие организационные процедуры становились очевидно не эффективны. Именно в силу этого процессы целеполагания, планирования совместного применения, координации разнородных элементов МКС во времени и географическом пространстве реализуются с использованием специализированных программных комплексов управления группировками разнородных элементов МКС в составе ПАК, как в [3]. Но чаще, ПК управления МКС являются программной «надстройкой» над программными (программно-аппаратными) комплексами непосредственного управления элементами МКС. Программные комплексы управления МКС, являющиеся неотъемлемой частью НСУ БАК, реализуют функционал непосредственной диспетчеризации и целевого направления каждого соответствующего аппарата. По существу, программные комплексы управления элементами МКС выступают в роли более

низкоуровневого звена в организации управления авиационной роботизированной группировкой, а ПК управления МКС – более высокоуровневого. Конкретная реализация программных комплексов управления элементами МКС зависит не только от уровня разработки, поколения, класса и вида роботизированного аппарата, но и от уровня роботизации носителя, конкретного распределения функционала между элементами программной и аппаратной реализации и пр. И тем не менее, в ряде работ [60,65,71] сформулирован обобщающий подход к представлению канонической программной архитектуры программного комплекса управления современным элементом МКС с элементами роботизации, на основании которого в рамках данной диссертационной работы представлена программная архитектура для указанных комплексов. В схематическом виде она показана на рисунке 1.1.5. В свою очередь, разработка и создание ПК управления МКС на сегодняшний день является перспективным и бурно развивающимся направлением современной софтверной индустрии высокотехнологичного аэрокосмического приборостроения. В силу этого факта, на сегодняшний день не выработано единое, устоявшееся и научно-обоснованное представление о канонической архитектуре таких программных систем.

ПК управления МКС обладают беспрецедентным уровнем программно-технологической сложности в силу того, что им приходится обрабатывать потоки гетерогенных данных, формируемых нижестоящими системами управления летательными аппаратами, обобщать их и представлять оператору, реализующему достижение целей всей авиационной роботизированной группировки в текущей операции. Не менее сложна и обратная задача. Решаемая с помощью ПК управления МКС – выработка и доведение сбалансированного плана последовательного и эффективного применения средств (элементов МКС и несомой ими полезной нагрузки) роботизированной группировки для достижения целей текущей операции. Указанная сложность прагматически проявляется в том, что в рамках конкретных образцов ПК управления МКС реализуются наиболее наукоемкие современные информационные технологии в



своем сочетании: геоинформационные технологии работы с картографическими пространственными данными, методы адаптивной обработки гетерогенной информации, инфотелекоммуникационные технологии поддержки удаленного доступа и облачных вычислений, интеллектуальной обработки потоковых данных, нейросетевого обучения и распознавания образов, онтологии предметных областей и пр.

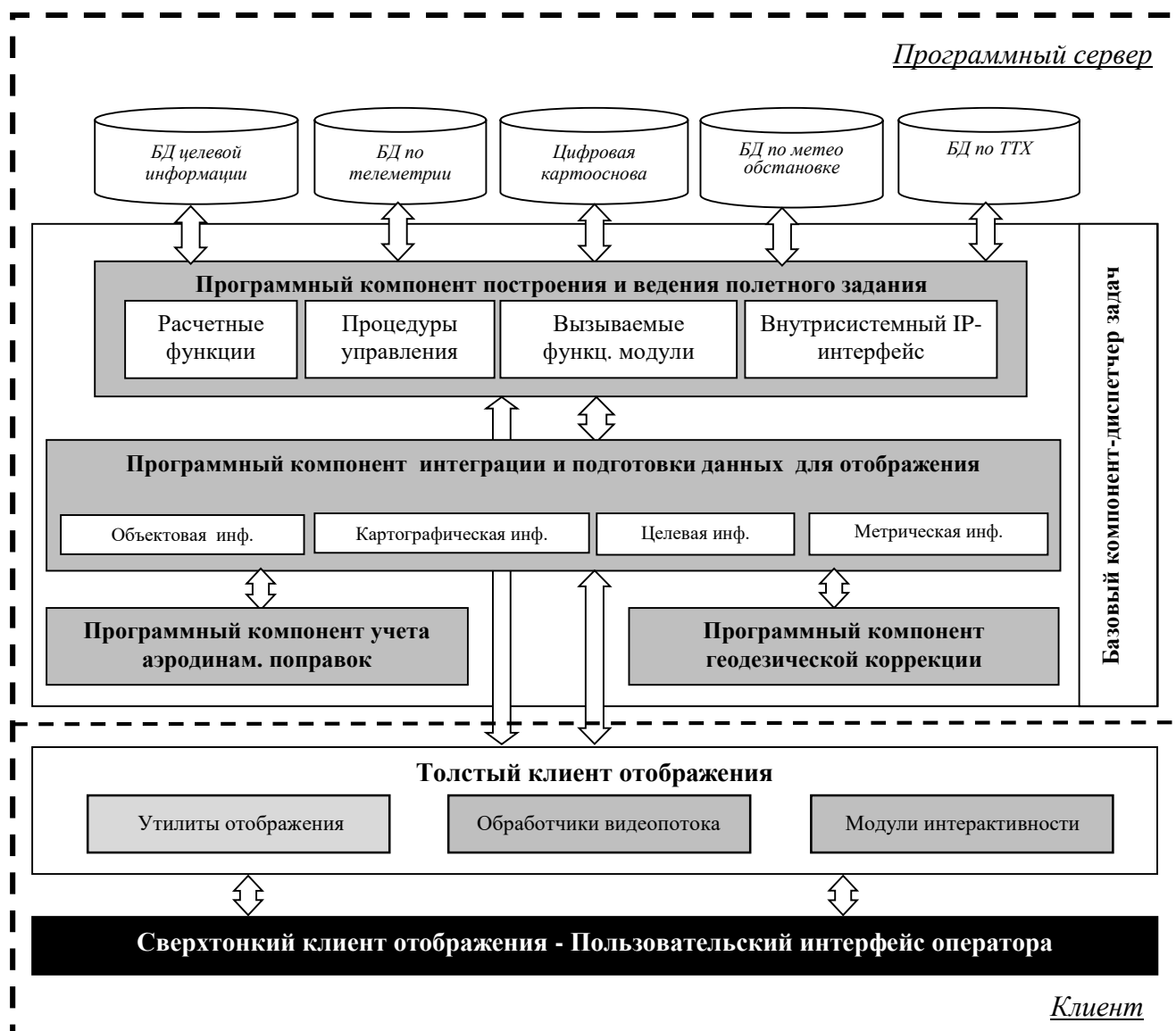


Рисунок 1.1.5. – Архитектура программных комплексов управления элементами МКС в обобщенном виде

При этом указанные программные технологии не комплексуются в рамках ПК управления МКС, а системно интегрируются, в результате чего возникает новое качество обработки полетной и навигационной информации, а

как следствие и новый уровень в принятии решений на управление группировкой элементов МКС. Интеграция выше приведенных информационных технологий в рамках ПК управления МКС не является самоцелью, а вызвано к жизни необходимостью реализовывать в указанных программных комплексах базовую информационную технологию потоковой обработки, на которую уже «нанизываются» все остальные частные технологии, в т.ч. перечисленные выше.

Задача внедрения методологии потоковой обработки в рассматриваемые программные комплексы порождено необходимостью обеспечить реальный масштаб времени обработки информации в автоматизированной системе управления элементами МКС при объективной ограниченности вычислительных ресурсов аппаратной платформы и высокой волатильности параметров информационной загрузки входных каналов данных. Для решения этой задачи разработчику любого современного ПК управления МКС надо преодолеть фундаментальную проблему, проявляющуюся в любой информационной системе с геометрическим ростом входной цифровой информации, а именно - изначально цифровые входные данные накапливаются в соответствующей базе данных указанной информационной (программно-информационной) системе, и потом только осуществляется их обработка для извлечения сущностного для процесса управления содержания, применимого для обоснования решений на управление. Указанная проблема в полной мере относится к ПК управления МКС, а с учетом необходимости обеспечивать мобильность БАК (ПАК управления МКС) имеет еще большее значение, чем в программно-информационных системах других классов. Иными словами, при традиционной организации обработки информации в программных комплексах пространственного управления в рабочей памяти системы фиксируется как само сущностное для управления содержание данных, так и сопутствующий ему цифровой шум. Очевидно, что для ограничительных условий функционирования ПК управления МКС указанный цифровой шум должен быть выделен и удален. Но логическое противоречие традиционной схемы организации обработки информации именно в том, что указанное выявление цифрового шума

осуществляется по итогам анализа всех данных, который идет за фиксацией указанных данных в памяти. Это означает, что в ПК управления МКС, как в программно-информационных системах реального масштаба времени, требуется отличная от традиционной схема организации обработки информации, отличная по реализуемой последовательности процедур анализа входных (первично оцифрованных), но несистематизированных цифровых данных. Суть перспективной схемы организации обработки информации, реализуемой сегодня в современных и проектируемых ПК управления МКС заключается в следующем: первоначально реализовывать выявление сущностного для управления содержания данных на фоне цифрового шума, и только потом проводить анализ полезного содержания на предмет обоснования управленческого решения. Конструктив перспективной схемы организации обработки информации, реализуемой сегодня в современных и проектируемых ПК управления МКС заключается в отсутствии необходимости предшествующего накопления в памяти системы всего объема входных цифровых данных, выдаваемых гетерогенными источниками информации. При этом выявление сущностного для управления содержания данных на фоне цифрового шума осуществляется до запоминания указанной сути. По существу внедрение методологии потоковой обработки в рассматриваемые программные комплексы меняет схему обработки цифровых данных от множества гетерогенных источников с условной формулы: <запоминание – обработка>, на формулу: <обработка – запоминание> [41,83,84]. Результатом этого внедрения является появление реальной возможности обеспечить высокую эффективность управления группировки элементов МКС, а издержками – рост сложности информационных и телекоммуникационных технологий (их комплексных сочетаний) реализации такого функционала. Графически суть схемы организации потоковой обработки информации, реализуемой в ПК управления МКС, показана на рисунке 1.1.6.

Применительно к схеме организации потоковой обработки информации, реализуемой в ПК управления МКС, наглядно видно, что чем выше процент

опускаемого цифрового шума во входных данных, тем меньше существенных для управления данных надо хранить в памяти системы в процессе выработки управленческих решений по всей совокупности входных данных, и соответственно тем меньше итоговые объемы хранимых оперативно-изменяющихся данных. Т.к. в рамках БАК и сопутствующих информационных систем основная масса источников цифровых данных выдают их в реальном масштабе времени протекания полета, то и указанное выявление цифрового шума надо проводить в том же реальном времени, т.е. инфотелекоммуникационная базовая технология потоковой обработки, снижая требования к объемам сохраняемых данных в машинной памяти, завышает требования к производительности программного комплекса, аппаратно-вычислительной платформы.

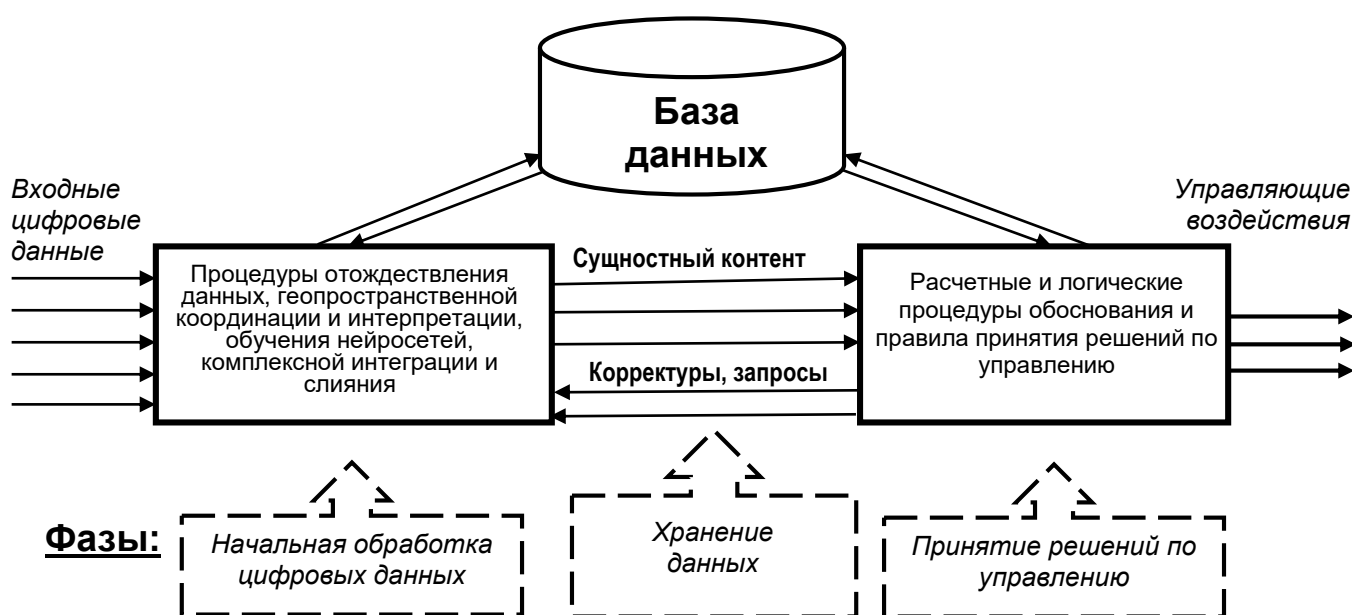


Рисунок 1.1.6. – Схема потоковой обработки информации в ПК управления МКС

Именно так определяется стратегическое (в технологическом плане) направление базового развития ПК управления МКС, их всестороннего совершенствования и улучшения принципиальных возможностей. В ходе диссертационного исследования на основании работ [44,57,65,87] сделана попытка обобщить программно-технологические варианты реализации ПК

управления МКС в виде единой архитектуры, на уровне отдельных технологических подсистем. Такая архитектура показана на рисунке 1.1.7.

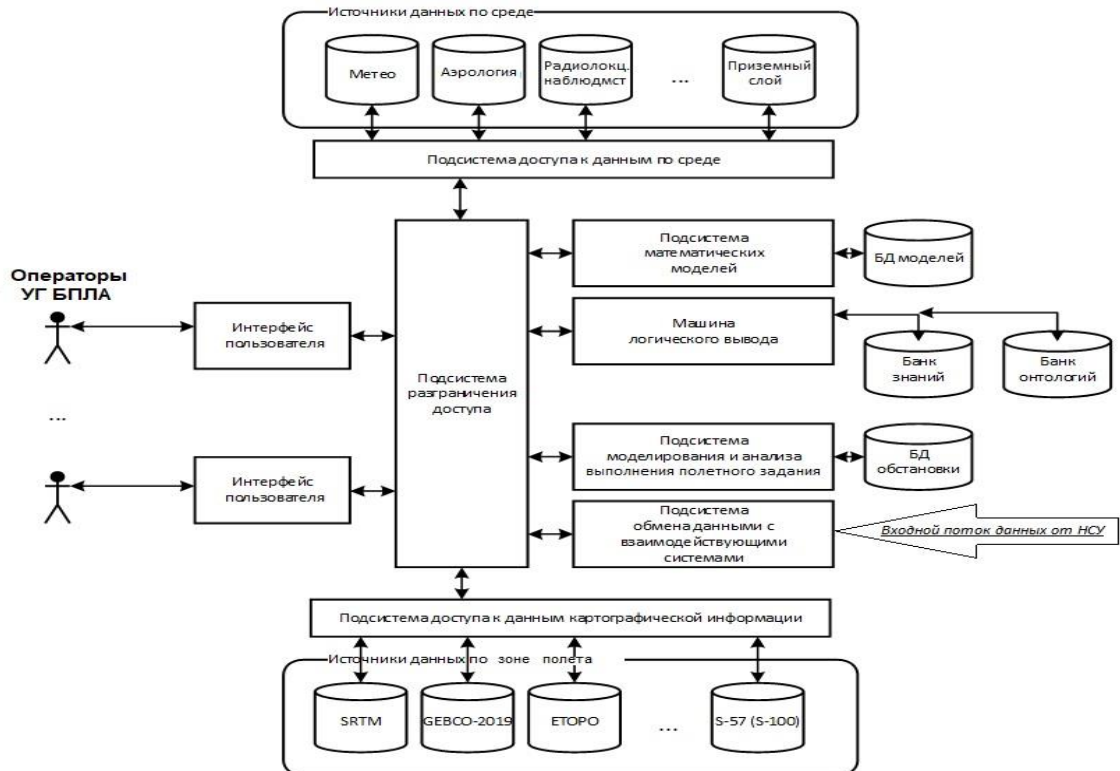


Рисунок 1.1.7. – Вариант технологической архитектуры ПК управления МКС

Таким образом, сложность разработки и построения ПК управления МКС объективно вытекает из специфики их целевого предназначения, задающего требования высокоэффективной поддержки решений операторов управления группировками элементов МКС, в сочетании с ограничениями на предоставление вычислительных ресурсов аппаратно-программной платформы. Базовый характер технологии потоковой обработки информации для интеграции возможностей всех остальных методов обработки информации значительно осложняет процесс разработки ПК управления МКС, что также резко отягощает процесс контроля и обеспечения их качества. Очевидно, что конгломерат наукоемких программных технологий обработки данных и знаний, комплексиремый в рамках конкретных реализаций ПК управления МКС является трудносовместимым и неустойчивым. Именно это является главной угрозой для обеспечения высокого качества таких программных комплексов.

Вместе с тем, существующая совокупность современных методов, методологических средств и соответствующих им прикладных методик управления качеством программного обеспечения для авиационного приборостроения, ориентированная на формирование точного и объемлющего заключения о текущем уровне качества ПК управления МКС, в целом допускает осуществление формирования и контроль качества указанных комплексов. Однако, современные методологические школы квалиметрии прикладного программного обеспечения традиционно направлены на поддержку процессов управления качеством создания программных комплексов, ориентированных на вышеописанную схему традиционной организации обработки информации, т.е. они не ориентированы на учет специфики потоковой обработки информации. Этот факт потребовал проанализировать возможности современного квалиметрического аппарата анализа программного обеспечения в рамках данного диссертационного исследования, что явилось одним из основных элементов объекта исследования. Сводное описание результатов такого анализа представлены в пп. 1.1.4.

#### 1.1.4. Специфика разработки и обеспечения качества ПК управления МКС

Анализ основных работ по созданию ПК управления МКС ведущими отечественными разработчиками роботизированной беспилотной авиатехники, приведенными в Приложении В, а также исследований и работ [63,71,72,87,88,95,96,109,120], позволил в рамках диссертационного исследования прийти к выводу, что основная специфика разработки и обеспечения качества рассматриваемых программных комплексов заключается в полном отказе всех разработчиков от т.н. «каскадной» методологии разработки программного обеспечения, которую предписывает в качестве основной существующая система нормативно-технического регулирования, а именно ГОСТы 34 серии, ГОСТ 28806—90, ГОСТ РВ 15.203-2001 и пр. [11,12,15,17,19,20-22]. Этот факт говорит о том, что традиционная (каскадная)

методология не отвечает тому уровню сложности решаемых технологических задач, с которыми приходится сталкиваться разработчикам ПК управления МКС. В свою очередь, отсутствие стандартизированных единых подходов к организации технологической системы в среде разработчиков на сегодняшний день привело к определенному эмпирическому характеру выбора базовой методологии разработки программного обеспечения. Этот вывод объективно обусловил необходимость исследовать вопрос о доминировании той или иной методологии на современном рынке создания программного обеспечения для управления группировками элементов МКС и о влиянии такой методологии на технологические системы формирования качества этого вида программного обеспечения. В результате такого частного исследования были проанализированы варианты методологий разработки и обеспечения качества ППО, которые применяются на предприятиях связанных с созданием ПК управления МКС. Сводные результаты такого исследования приведены в таблице 1.1.1., в которой обобщены данные по основным признанным методологиям разработки ППО, определяющим соответствующие технологические системы формирования качества ПК управления МКС.

Таблица 1.1.1. – Базовые методологии разработки ППО, определяющие технологические системы формирования качества

№ п/п	Международный идентификатор	Краткое наименование	Описание существа методологии	Достоинства	Недостатки	Примечания
1.	Waterfall	Методология каскадного проектирования, водопадная методология.	Водопадная методология представляет собой классический подход к проектированию и разработке ПО. Ход проектирования жесткий и линейный. Он обусловлен строгими целями для каждого шага, новый шаг проектирования и разработки ПО стартует по завершении предшествующего, возврат назад не предусматривается или рассматривается как результат выявления брака.	Возможность распараллеливания работ и жесткого контроля за сроками и качеством разработки (проектирования) каждого последовательного шага создания.	- Не учитывает возможности динамических изменений первоначального замысла и внешних требований; - Мало эффективен в силу возможностей недозагрузки сотрудников, тестирования только в конце шагов разработки.	Является исторически первой и рассматривается как традиционная для разработки программного обеспечения, доминирует в задании норм технического регулирования ПО в РФ.
2.	RUP (Rational Unified Process)	Рациональная методология	Методология разработки ППО, базирующаяся на рассмотрении процесса синтеза программной системы как множества рабочих подпроцессов, каждый из которых, в свою очередь, подразделяется на фазы, соотнесенные к стадиям жизненного цикла. Предусматривает итеративность процесса проектирования и разработки ПО.	- Позволяет учесть динамику изменения требований к ПО; - Предусматривает поэтапную интеграцию всех составляющих программного изделия; - Допускает быстрое прототипирование; - Обеспечивает типизацию решений и рост эффективности.	- Требуется соответствующая технологическая поддержка; - Громоздок для реализации в условиях разработки в сжатые сроки.	
3.	Crystal Clear	Методология с уравниванием разработчиков в команде разработки.	Методология ориентирована на малые группы разработчиков в 7-12 человек, каждый из которых реализует свой подход к разработке. Поэтому нет заранее выбранной стратегии разработки – она определяется на каждом шаге всей командой.	- Прима требования заказчика над всеми технологическими и пр. требованиями и условиями; - Прима реализации заказанной функциональности над технологичностью реализации.	- Избыточная итеративность процесса проектирования и разработки; - Высокая затратность согласовательных процедур в процессе разработки ПО.	



4.	Spiral	Спиральная методология	Спиральная методология базируется на нелинейной организации жизненного цикла ППО, она концентрируется на раннем установлении и минимизации рисков всего проекта разработки ППО.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Позволяет минимизировать риски в разработке ПО;</li> <li>- Инвариантен к масштабу проекта программной системы.</li> </ul>	- Не учитывает и ведет к затягиванию сроков разработки.	
5.	DSDM (Dynamic Systems Development Model)	Методология, основанная на динамической модели разработки	Эта методология исходит из того, что при начальном планировании не представляется возможным иметь четкое понятие о всех деталях разрабатываемой программной системы, а следовательно весь ход разработки соответствующего программного кода рассматривается как исследовательский процесс.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Предусматривает рациональное распараллеливание работ, за счет создания подкоманд по каждой возникающей проблеме;</li> <li>- Ориентирована на изначальное широкое вовлечение всех заинтересованных сторон (от заказчика до разработчиков) и учет их интересов.</li> </ul>	- Изначально тестирование и доработка программного кода системы предусматривается в рамках всего её жизненного цикла.	
6.	FDD (Feature Driven Development)	Методология, рассматривающая будущие изменения	Методология реализует разработку программной системы так, чтобы поддерживать масштабируемость и повторяемость применяемых программных решений. При этом предусматривается поощрение творческого подхода разработчиков и инновации.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Жесткая регламентация времени работ, что позволяет контролировать общее время разработки;</li> <li>- Системность исполнения проектов разработки, при проработанности декомпозиции и каждого шага разработки.</li> </ul>	- Короткий цикл разработки, который ведет к росту итеративности всего процесса.	
7.	JAD (Joint Application Development)	Методология ориентированного на пользователя подхода	Методология, ориентированная на наибольшую вовлеченность в разработку программной системы ППО её конечного пользователя, что достигается за счет встреч и совместных семинаров.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Сокращение времени разработки по отношению к традиционной методологии;</li> <li>- Высокая удовлетворенность заказчика и конечного пользователя;</li> </ul>	-Зависимость от изменчивых мнений конечного пользователя, что часто приводит к перерасходу ресурсов разработки.	

8.	RAD (Rapid Application Development)	Методология быстрой разработки	В методологии быстрой разработки доминирующими показателями является скорость и удобство разработки программной системы, при соблюдении использования т.н. языков быстрой разработки (типа Rational Rose).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Высокий темп разработки и четкость проектных решений;</li> <li>- Широкое применение повторного использования уже разработанного кода;</li> <li>- Эффективно быстрое прототипирование.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Длительное время отладки сложных вложенных логических конструкций;</li> <li>- Не прогнозируемость временных затрат.</li> </ul>	
9.	LD (Lean Development)	Методология бережного отношения ко всем участникам процесса разработки.	Данная методология характеризуется поддержанием на высоком уровне моральных и функциональных характеристик состояния разработчиков для целей строго выполнения плана разработки.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Гарантированность минимального результата;</li> <li>- Диалектичность и креативность подхода.</li> </ul>	Косность в исполнении начального плана разработки (Внесение изменений в текущие задачи только при необходимости или по запросу заказчика)	
10.	Kanban	Методология системной разработки	Методология ориентирована на максимальную экономию ресурсов вычислительной системы и времени	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ресурсная экономичность;</li> <li>-Простота реализации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ориентация на машиноориентиров. языки разработки</li> </ul>	Является устаревшей и мало применима.
11.	Agile	Общая методология гибкой разработки	Методология управления проектами разработки ППО, цель которой есть рост производительности труда в командах, ранее парализованных более тяжелыми методологиями. Она предусматривает гибкий контроль за выполнением задач, минимизацию времени совещаний, но неограниченный рост их частоты. Традиционное планирование процесса не является доминирующим, а носит инкрементальный характер.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Эффективность при разработке высоко сложных и объемных проектов;</li> <li>- Простота в реализации.</li> <li>Отсутствие в необходимости затрат на дополнительное оснащение и поддержку процесса проектирования и разработки.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Высокая итеративность процесса разработки;</li> <li>- Инкрементальный характер планирования;</li> <li>- По существу эмпирический способ поиска путей разрешения возникающих при разработке проблем.</li> </ul>	Является доминирующей методологией при разработке высоко технологичных приложений реализующих распараллеленную потоковую обработку цифровых данных.

Анализ технологических схем и процессов разработки ППО для ПАК управления МКС, а также программного обеспечения для БАК в различных исполнениях на предприятиях, приведенных в Приложении В, наглядно показал, что доминирующей на сегодняшний день методологией разработки исследуемых программных комплексов является общая методология гибкой разработки Agile. Этот факт имеет во-многом парадоксальный характер, т.к., в отличие от традиционной методологии разработки программного обеспечения и близких к ней, методология гибкой разработки практически ориентируется на итеративный путь поиска путей проблем и задач, возникающих в процессе разработки ППО. Гибкость самого процесса разработки заключается в выполнении следующих принципов разработки [93]:

1. Деловое взаимодействие в команде разработчиков, а также команды разработчиков с заказчиками, экспертами, пользователями и пр. важнее требований технологий программирования и возможностей инструментальных сред разработки;
2. Полноценно функционирующая программная система, как результат разработки, важнее всесторонней, исчерпывающей документации на неё;
3. Эффективное взаимодействие с заказчиком важнее формального согласования пунктов контракта и технического задания;
4. Постоянная способность команды разработчиков к изменениям требований заказчика, экспертов и пр. важнее строго выполнения первоначального плана.

Инкрементальный характер планирования, по существу, не является механизмом контроля времени разработки, а интенсификация работ возможна только за счет повышения частоты итераций разработки. Но, несмотря на указанные свойства методологии гибкой разработки именно она является доминирующей в обосновании создания технологий и технологических систем разработки ПК управления МКС.

В ходе частного исследования проанализированы конкретные технологии (технологические системы) синтеза прикладных программных продуктов,

вообще, и ПК управления МКС, в частности, которые создаются на базе методологии гибкой разработки ППО. Среди основных технологий разработки ППО, базирующихся на гибкой методологии, согласно работам [91,93], можно выделить как самостоятельные и организационно, методически оформившиеся следующие, которые приведены в таблице 1.1.2.

Таблица 1.1.2.- Технологические системы разработки ППО, базирующиеся на общей методологии гибкой разработки программного обеспечения

№ п/п	Международный идентификатор	Краткое наименование	Описание сущности технологии (технологической системы)
1.	XP (Extreme Programming)	Экстремальное программирование	Ведение экстремальной разработки программного кода в динамической программной и организационной среде. Планирование инкрементальное и ориентировочное, но в силу итеративности процесса разработки по мере продвижения разработки строгость планирования возрастает. Максимально возможная частота сборок и предъявлений экспертам заказчика прототипов системы, несмотря на незначительность изменений от версии к версии. Теснейшее взаимодействие с заказчиком (экспертом от заказчика). Стандартизация в кодировании функционала и в описании кода.
2.	Scrum	Технология (метод) управления проектами гибкой разработки программного обеспечения	Технологический процесс разработки ППО представляет собой совокупность рабочих итераций, называемых спринтами. В ходе спринта надо реализовать ранее заданный набор работ. В ходе спринта менять требования и условия выполнения нельзя. Спринт не может быть остановлен. Планирование инкрементальное, но публичное и подразумевает формализацию в специальных журналах для проекта в целом, и для каждого спринта. Многозадачность в рамках одной команды и на одном спринте не допускается. Кроме разработчиков в команде представлены также менеджеры, отвечающие за чистоту реализации технологии.
3.	Scrum/ XP Hibrid	Гибридные методы гибкой разработки программного обеспечения	Реализуют промежуточные технологические приемы, способы и инструменты программирования от XP и Scrum.

В исследовании [91] приведены сводные данные по анализу популярности различных технологий, базирующихся на методологии гибкой разработки, и других методологий в сфере разработки высоко технологичного программного

обеспечения. Обобщенно эти данные представлены в виде гистограммы распределения на рисунке 1.1.8.

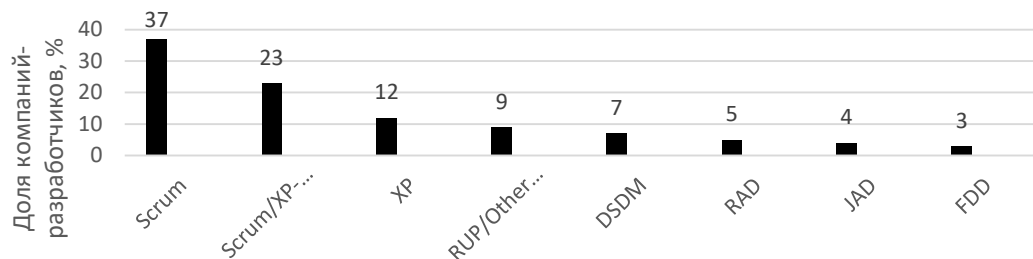


Рисунок 1.1.8. – Уровни популярности различных технологий разработки высокотехнологичного ППО согласно [91]

Таким образом, суммарно технологии, базирующиеся на методологии гибкой разработки, предпочитают более 70% разработчиков высокотехнологичного ППО, при этом доминирующей технологической системой разработки программных продуктов является технология Scrum и гибриды на её основе (Предпочтительность более 50%). Данный вывод в полной мере распространяется и на разработку ПК управления МКС, как программные системы потоковой, параллельной обработки цифровых данных. Формирование качества ПК управления МКС всецело зависит от технологической системы их разработки, её результативности и возможностей развертывания в её рамках соответствующей подсистемы качества.

В силу выше изложенного в ходе исследования возникла необходимость анализа результативности технологической системы гибкой разработки ПК управления МКС на предмет выявления путей её повышения посредством совершенствования процедур оценки и улучшения качества этих комплексов.

## **1.2. Результативность технологической системы гибкой разработки программных комплексов управления мультикомпонентными системами и пути её повышения**

### **1.2.1. Технологическая система разработки программного обеспечения Scrum при создании ПК управления МКС**

Технологическая система разработки программного обеспечения Scrum при создании ПК управления МКС получила широкое распространение на предприятиях отечественных софтверной и приборостроительной индустрии буквально в последнее десятилетие. Сама технология Scrum, появившись именно в предметной области разработки программного обеспечения и создания высокотехнологичных программных систем, уже шагнула на поле теоретического менеджмента и стала также применяться как технология управления любыми проектами по созданию инновационной продукции [74]. Вместе с тем, в теоретическом плане она наиболее глубоко проработана и обоснована именно в области разработки программного обеспечения, о чем свидетельствуют как фундаментальные работы по методологии гибкой разработки программного обеспечения [91,93,119], так и работы по научному обоснованию менеджмента проектов разработки указанного вида обеспечения [39,40-42,44,46,108].

Технология Scrum при разработке высокотехнологичного программного обеспечения предполагает реализацию ряда специфических ролей и применение определенных средств поддержки процессов. В силу неустоявшегося характера терминологии многие авторы по-разному трактуют названия указанных ролей и средств. В рамках данного диссертационного исследования автор придерживался определений, изложенных в классической работе [74], используя специфику, присущую именно предметной области создания программного обеспечения для беспилотного авиаприборостроения. Они приведены в глоссарии к текущему исследованию.

Технологическая система разработки программного обеспечения Scrum при создании ПК управления МКС предусматривает следующие роли исполнителей и организацию работ, которая обобщенно представлена на рисунке 1.2.1.

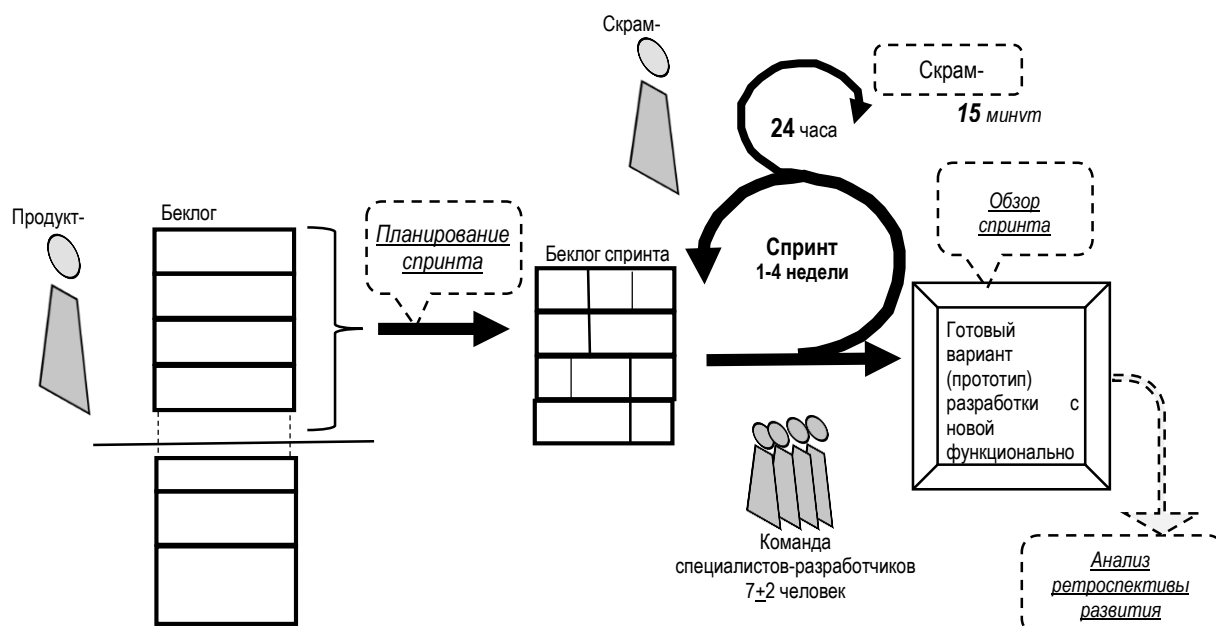


Рисунок 1.2.1. – Схема организации разработки согласно технологии Scrum

Процесс разработки в Scrum-технологии представляет собой последовательность т.н. спринтов (Они и есть основные итерации процесса разработки), длительность каждого из них от одной до четырех недель. Иными словами, спринт это итерация разработки в технологии гибкой разработки программного обеспечения. В рамках технологии SCRUM это итерация (этап) в которой реализуется определенная часть проекта по созданию программной системы. В ходе спринта команде разработчиков надо выполнить задаваемый продукт-оунером объём работ. (Продукт-оунер это руководитель проекта разработки программной системы. Он представляет интересы Заказчика (конечных пользователей) и других заинтересованных в программном комплексе сторон, предоставляет понятные и проверяемые требования команде разработчиков, отвечает за итоговую приемку финишного кода в конце каждого спринта.) Как правило, это либо новый функционал для создаваемой программной системы, либо программная система уже в состоянии готового

программного продукта, который при последующих спринтах будет улучшаться. При этом не допускается изменение задач в течении спринта. Спринт можно остановить только в исключительных ситуациях.

Таким образом, Scrum-технология разработки ППО предполагает высочайшую итеративность не только в получении новой функциональности, но и в достижении требуемого уровня качества программного изделия.

Основной реализатор работ – команда программистов с различной специализацией. Число программистов в команде может варьироваться от пяти до десяти человек. Такая численность позволяет добиться наивысшей эффективности программной разработки и минимизирует отвлечение от работы. Очевидно, что команда программистов-разработчиков изначально должна включать всех необходимых для разработки программной системы специалистов. К команде разработчиков-программистов обязательно добавляется ещё 2 роли: скрам-мастер, ответственный за соблюдение принципов гибкой разработки и продукт-оунер, осуществляющий непосредственное руководство разработкой и логическую связь с заказчиком. Иными словами, скрам-мастер это специалист-менеджер, который контролирует процесс разработки проекта программной системы; он следит за соблюдением принципов SCRUM, разрешает противоречия и защищает команду разработчиков от отвлекающих факторов. А продукт-оунер это руководитель проекта разработки программной системы. Он представляет интересы Заказчика (конечных пользователей) и других заинтересованных в программном комплексе сторон, предоставляет понятные и проверяемые требования команде разработчиков, отвечает за итоговую приемку финишного кода в конце каждого спринта.

В отличие от технологии экстремального программирования XP в Scrum-технологии реализуется учет и управление ресурсами разработки программного обеспечения, что реализуется через соответствующие процедуры планирования. Планирование в Scrum-технологии носит инкрементальный характер. Изначально все задачи проекта излагаются в т.н. беклоге продукта (Журнал,



список желаемых функций программной системы). Беклоге продукта заранее включает в себя пожелания потенциальных пользователей (экспертов, заказчика и пр.). Для каждого спринта из беклога продукта вычленяется беклог спринта. Таким образом, бэклог это список задач для команды разработки, который полностью описывает желаемую заказчиком функциональность программной системы, создаваемой в проекте (Product Backlog) или на спринте разработки (Sprint Backlog). При этом этот список нельзя рассматривать как четкий план реализации проекта (спринта), это по сути список «желаний» заказчика.

Спринт стартует с акта планирования: на планерке вырабатывается понимание того, что за задачи нужно выполнить в процессе спринта. Спринт завершается анализом ретроспективы хода разработки, т.е., по сути, оценкой эффективности каждого из членов команды. В процессе спринта в течении каждого дня проходят пятнадцатиминутные собрания, на которых обсуждаются вопросы: что удалось или не удалось сделать вчера? что нужно сделать сегодня? что может препятствовать этим планам? Не допускается реализация нескольких задач командой разработчиков в один спринт. Все задачи реализуются командой строго последовательно.

Обобщенная схема учета ресурсов и задач в Scrum-технологии при инкрементальном планировании показана на рисунке 1.2.2.

Понятие технологической системы подразумевает наличие не только технологии, как совокупности приемов, методов, методик получения искомого результата, но и соответствующей технологической оснастки, оборудования, средств производства. Помимо очевидных средств производства, свойственных созданию программных систем – вычислительной техники и общесистемного программного обеспечения, к технологической оснастке в Scrum следует отнести: Диаграмму сгорания задач и Скрам-доску. Два указанных инструмента организации работ обязательны в Scrum технологии разработки программного обеспечения. Диаграмма сгорания задач и Скрам-доска — это, по существу, инструменты учета статистики и создания мотивации для команды разработчиков программного кода.

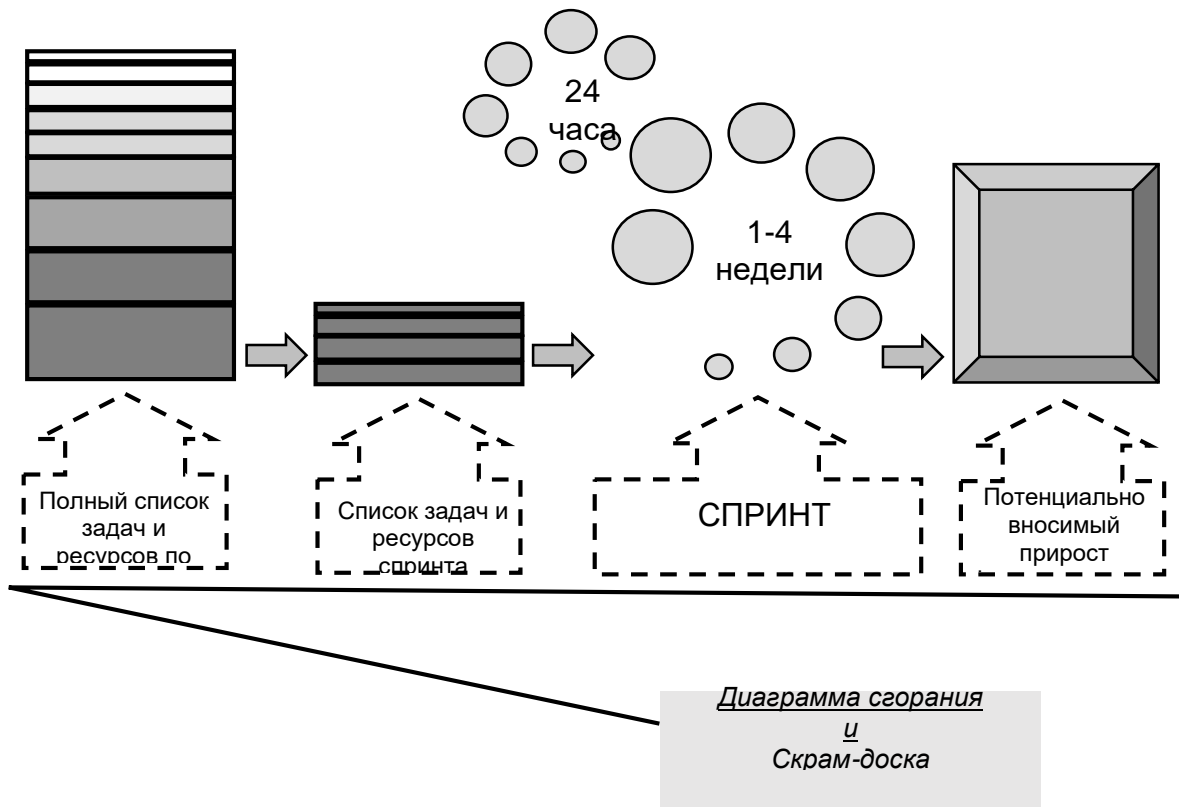


Рисунок 1.2.2. – Учет ресурсов и задач в Scrum-технологии при планировании

Характеризуя такие технологические инструменты как диаграмма сгорания задач и скрам-доска необходимо указать следующие их функциональные роли:

1. Диаграмма сгорания задач. Она отображает ход работы над созданием программной системы. На ней видна степень достижения результата в текущей задаче. Находящейся на выполнении. На диаграмме сгорания задач по оси абсцисс откладывается время до конца спринта, а по оси ординат объем оставшихся частных задач (подзадач) или других единиц измерения объема работы. Огибающая диаграммы сгорания задач должен стремиться вниз от общего количества всех частных задач к их полной реализации. Отдельно, как правило, изображается идеальная огибающая, а именно прямая, характеризующая такой режим работ, когда ежедневно реализуется одинаковый объем работ, а в результате это ведет к равномерной загрузке и достижению целей в назначенный срок. Плохим результатом по текущей диаграмме сгорания является возвышение реального графика над идеальным.

2. Скрам-доска. Она дает возможность разработчикам ориентироваться в выдаваемых частных заданиях. По существу, это формализация таблицы,

включающая 3 или более столбцов: спланировано, в работе, завершено. Иногда включается столбец «Истории пользователей», куда вносятся пользовательские примеры-описания возможных функций создаваемой программной системы. По указанным столбцам распределяются стикеры, на которых сжато описано существо подзадачи. Стикеры последовательно, по мере хода работ, переносятся из столбца «спланировано» в столбец «в работе», а из «выполняется» в «завершено». Благодаря такой организации скрам-доски, при разовом взгляде на неё, становится быстро понятно, что в проекте по разработке программной системы уже реализовано, а что ещё в ходе исполнения, какие подзадачи закрыты.

Таким образом, основным конструктивом технологии Scrum, как конкретной технологической системы, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения Agile, по сравнению с другими технологиями данной методологии является сочетание креативно-творческой мотивации команды разработчиков, свойственного методам экстремального программирования, с необходимым уровнем организационного планирования и управления процессом разработки программного обеспечения. Именно это сочетание обусловило те преимущества, которые выгодно отличают Scrum-технология от других технологий разработки прикладного программного обеспечения, а именно:

1. Эффективное выполнение требований заказчика (конечных пользователей);

2. Использование непрерывного совершенствования итоговой версии программной системы и, как следствие, наращивание её конкурентных преимуществ;

3. Высокая кумулятивная результативность команды программистов-разработчиков, за счет того, что каждый разработчик в каждый текущий момент рабочего времени занят делом по своей специализации, нет излишней коммуникации на совещаниях, но есть рабочий контакт с членами команды через

продукт-оунера. Также продукт-оунер осуществляет логическую связь разработчиков с конечными пользователями (экспертами);

4. Сжатые, относительно возможностей других технологий, сроки получения работоспособной версии создаваемой высоко технологичной программной системы;

5. Минимизация накладных расходов на содержание менеджеров, обслуживающих разработку программной системы в силу того, что весь менеджмент реализуется скрам-мастером;

6. Обеспечение экономичности проекта разработки программного обеспечения на менеджерах, так как команда управляется только скрам-мастером, а продукт-оунер формализует требования к создаваемой программной системе от потенциальных потребителей.

Доминирование именно технологии SCRUM при разработке программного обеспечения для такого многосложного и высокотехнологичного программного продукта, каким являются ПК управления МКС, определяется именно указанными шестью достоинствами перед другими технологиями разработки ППО. Однако, факт того, что технология SCRUM фактически использует итеративно-инкрементальный подход, во многом перекликающийся с эмпирическим подходом, к проектированию и созданию сложнейших функциональных систем, какими и являются ПК управления МКС, ставит под сомнение применимость в рамках этой технологии методов научной квалиметрии для организации соответствующей подсистемы качества. А это, в свою очередь, объясняет существующий дефицит научно-методических средств формирования и управления качеством ПК управления МКС в технологическом процессе их разработки. Следовательно, именно рассмотрение современных методов, методологических средств и соответствующих им прикладных методик контроля качества программного обеспечения для авиационного приборостроения и их применимости для определения путей повышения результативности ПК управления МКС в рамках доминирующей

технологической системы их создания явилось следующим логическим шагом диссертационного исследования.

### 1.2.2. Методы контроля качества и повышения результативности разработки ПК управления МКС

Современное законодательство о техническом регулировании, её нормативная составляющая, требуют от разработчиков ПК управления МКС создания в рамках технологической системы разработки соответствующего ППО подсистемы качества. Это же требование объективно вытекает из современной всеобъемлющей концепции формирования качества TQM, которой подвержено сегодня любое высокотехнологичное производство или разработка. Целью создания такой подсистемы в рамках технологического процесса (технологической системы) является управляемое формирование качества ПК управления МКС, эффективный контроль указанного качества на всех этапах разработки в рамках принятой технологии (В данном случае – SCRUM технологии). Как следствие, высокая эффективность подсистемы качества в рамках указанной технологической системы разработки ПК управления МКС должно обеспечить рост результативности всего процесса создания соответствующего наукоемкого ППО и её составляющих, а именно его экономичности, прибыльности, производительности, действенности, обеспеченности должных условий трудовой деятельности разработчиков, ригидности к нововведениям и пр. [64]. Результативность и эффективность процесса разработки в данном случае выступают логически близкими, но не совпадающими понятиями. Эффективность, есть степень достижения цели в целенаправленной деятельности человека (Определение Колмогорова А.Н. [53]), которое предполагает задание одного или нескольких (не многих и, как правило, не декомпозируемых) показателей для оценки указанной степени. Результативность же, также методологически выступает указанной степенью достижения цели целенаправленного процесса производственной деятельности, но по совокупности определенных и интерпретируемых показателей.

Внедрение и широкое признание специалистами технологии SCRUM в разработке прикладного программного обеспечения для ПК управления МКС столкнулось с фактором малой применимости существующего научно-методического и нормативно-технологического инструментария формирования и контроля качества ППО, наследуемого из других, более ранних технологических систем. Это вызвано тем, что совокупность наследуемых из более ранних технологий методов, методологических средств и соответствующих им прикладных методик управления качеством программного обеспечения для авиационного приборостроения ориентирована именно на формирование точного и объемлющего заключения о текущем уровне качества. Это вызывает к жизни попытки использования в SCRUM методологически-сложного и алгебраически-громоздкого (“тяжеловесного”) математического аппарата современной квалиметрии, что объективно блокируется его не применимостью в рамках методологии гибкой разработки программного обеспечения.

Именно степень указанной применимости существующего квалиметрического инструментария контроля качества ПО в технологических системах методологии гибкой разработки ПО, обеспеченность им всех этапов разработки ПК управления МКС стали целью частного исследования в рамках данной диссертации. Основные логические шаги такого исследования наглядно показаны на рисунке 1.2.3. Указанная последовательность шагов частного исследования вызвана к жизни необходимостью выявления соотношения существующей и действующей гаммы научно-методических и нормативно-технологических средств управления качеством ППО тем программно-информационным технологиям и типовым приемам разработки, которые используются при создании и формировании качества рассматриваемых ПК управления МКС. Это, в конечном итоге, позволило проследить уровень соответствия каждого из выявленных научно-методических и нормативно-технологических средств управления качеством ППО требованиям применимости в рамках конкретных технологий (технологических систем)

разработки ППО, относящихся к методологии гибкой разработки программного обеспечения.

<b>Исследование методических и нормативно-технических средств контроля качества и повышения результативности разработки ПК управления МКС</b>	●	1. Анализ обеспеченности основных базовых программно-информационных технологий, реализуемых в ПК управления МКС, научно-методическими и нормативно-техническими средствами контроля и улучшения качества;
	●	2. Установление соответствия основных направлений исследований в квалиметрии и документов нормативно-технического регулирования, нашедших применение при разработке ПК управления МКС;
	●	3. Выявление уровня покрытия потребностей соответствующих технологических систем гибкой разработки ППО средствами формирования системы качества.

Рисунок 1.2.3. – Логическая структура частного исследования совокупности методических и нормативно-технических средств управления качеством ППО

Анализ обеспеченности основных базовых программно-информационных технологий, реализуемых в ПК управления МКС, научно-методическими и нормативно-техническими средствами контроля и улучшения качества проведен путем выявления соответствия между указанными технологиями и научными дисциплинами современной информатики, вычислительной математики, алгоритмики, обосновывающими научно-методические средства для соответствующей технологии обработки информации, а также существующими и применяющимися средствами нормативно-технического регулирования (т.е. стандартами, регулирующими данную сферу софтверной индустрии). Именно средства нормативно-технического регулирования выступают теми элементами подсистемы качества технологической системы разработки ПК управления МКС, которые задают и во многом определяют её квалиметрические возможности, а также уровень технологической зрелости указанной подсистемы качества (т.е. соответствие уровню реализуемых программно-информационных технологий. Результаты указанного анализа, как первого шага данного частного исследования представлены в таблице 1.2.1.

Таблица 1.2.1 - Обеспеченность основных базовых программно-информационных технологий, реализуемых в ПК управления МКС, научно-методическими и нормативно-техническими средствами контроля и улучшения качества

№ п/п	Программно-информационные технологии, реализуемые в ПК управления МКС	Научные дисциплины современной информатики, вычислительной математики и алгоритмики, обосновывающие соответствующую технологию обработки информации	Ведущие ученые по научной дисциплине, обосновывающей технологию	Нормативно-технические средства формирования подсистемы качества	Характеристика обеспеченности средствами нормативно-технического регулирования	Примечания
1.	Обработка цифровых наборов картографических данных в узлах регулярной сетки (GRID/GRIB); Геопозиционирование; Представление данных в ГИС; и пр.	Геоинформатика; Методы представления и работы с пространственными данными; Цифровая геодезия и топология; Методы картирования геопространства, методология пространственной навигации в координированном пространстве.	А.М.Берлянт; А.В.Кошкарев; В.С.Тикунов; С.И.Биденко; В.В.Попович; С.Н.Потапычев; В.И.Ермолаев; К.Кларамунт; М.Ф.Шренк; и др.	ГОСТ Р 57773-2017 [33] ГОСТ Р 57656-2017 [34] ГОСТ Р 57668-2017 [35,36] ГОСТ Р 50828 1995 [37] ГОСТ Р ИСО10207-2010 [38] ГОСТ Р ИСО25010-2015 [20] ГОСТ Р ИСО27000-2015 [21] ГОСТ Р ИСО15288-2005 [22] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [14]	Нормативно-техническая и научно-методическая база достаточно полная, однако бурное развитие этого научного и технологического направления требует регулярного совершенствования этой базы.	Является наиболее развивающейся областью технического регулирования в отечественной IT-сфере.
2.	Экспертные системы поддержки принятия решений; Адаптивные ППО и интерфейсы.	Искусственный интеллект, инженерия знаний, анализ киберсоциобиосистем, системный анализ, ситуационный анализ и синтез.	Д.А.Поспелов; Г.С.Осипов; В.И.Городецкий; В.Н.Наумов; Г.Джекобсон; Л.Льюис и др.	ГОСТ Р ИСО25010-2015 [20] ГОСТ Р ИСО27000-2015 [21] ГОСТ Р ИСО12207-2010 [32] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [14] ГОСТ Р ИСО 9126-1993 [25]	Совокупность нормативно-технических требований носит общий и явно не достаточный характер.	
3.	Интеграция и слияние информации от гетерогенных источников; Потоковая обработка цифровых данных.	Методология интеграции и слияния данных и знаний; Data Mining; Объектно-ориентированный подход к разработке программных систем; Методы работы с большими данными	А.В.Смирнов; О.В.Карсаев; Б.А.Позин; А.В.Шмид; Г.Буч; К.Суккара; М.Кокар и др.	ГОСТ 28195-1989 [24] ГОСТ Р ИСО 12207-2010 [32] ГОСТ Р ИСО 15288-2005 [22] ГОСТ Р ИСО 31000- 2010 [23] ГОСТ Р ИСО 9001- 2015 [14] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 [20] ГОСТ Р ИСО 15910-2002 [17]	Обеспечение научно-методическими и нормативно-техническими средствами контроля и улучшения качества носит фрагментарный характер.	
4.	Параллельные алгоритмы и вычисления; Обработка информации в	Методология высокопроизводительных вычислений; Методы сетецентрического представления и управления; Теория гиперпоточности; Методы	В.Н.Афанасьев; В.А.Александров; С.Н.Горский Р.П.Сорокин; М.Братман; Д.Буффорт и др.	ГОСТ 28195 -89 [24] ГОСТ 15971-90 [18] ГОСТ 34.201-89 [11] ГОСТ 34.601-90 [12] ГОСТ 28806 -90 [19] ГОСТ Р ИСО 9126-1993 [25]	Научно-методическая база данного направления является развитой, а нормативно-технические средства	



	распределенных вычислительных сетях	распределенных вычислений и обработки информации		ГОСТ Р ИСО15910-2002 [17] ГОСТ Р ИСО25010-2015 [20]	контроля и улучшения качества носят устаревший характер.	
5.	Поддержание многомодальных интерфейсов; Обработка сигналов; Цифровая фильтрация.	Методология когнитивных способов моделирования; Теория многомодальной интерактивности; Интеллектуализация пользовательского интерфейса	А.Л.Ронжин; А.А.Карпов; М.Висман; Н.Бремер и др.	ГОСТ 34.201-89 [11] ГОСТ 34.601-90 [12] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [14] ГОСТ Р ИСО25010-2015 [20] ГОСТ Р ИСО27000-2015 [21]	Совокупность нормативно-технических требований носит общий и не достаточный характер.	
6.	Работа с вложенными структурами данных; Представление данных и знаний; Онтологии предметных областей.	Онтологический подход к моделированию сложных систем; Теория структур данных и знаний; Сложно структурируемые типы данных; Модели представления данных и знаний	С.А.Яковлев; Б.Я.Советов; Р.М.Юсупов; Т.В.Левашова Н.Н.Шилов и др.	ГОСТ Р ИСО 15910-2002 [17] ГОСТ Р ИСО 12207-2010 [38] ГОСТ Р ИСО 15288-2005 [22] ГОСТ Р ИСО 31000 -2010 [23] ГОСТ Р ИСО 9001 -2015 [14] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 [20] ГОСТ Р ИСО 57656 -2017 [34]	Совокупность нормативно-технических требований носит общий и не достаточный характер.	
7.	Формирование семантики в базах данных и знаний; Обучение машин; Нейросетевые решения.	Методы поиска семантики в базах данных; Репрезентация знаний; Теория нейронных сетей; Распознавание образов	Т.А.Гаврилова К.Р.Червинская М.А.Цаленко М.К.Смит М.Парвис и др.	ГОСТ 34.201-89 [11] ГОСТ 34.601-90 [12] ГОСТ Р ИСО 15910-2002 [17] ГОСТ Р ИСО 12207-2010 [38] ГОСТ Р ИСО 15288-2005 [22] ГОСТ Р ИСО 31000 -2010 [23] ГОСТ Р ИСО 9000 -2015 [13] ГОСТ Р ИСО 9001 -2015 [14] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 [20] ГОСТ Р ИСО 57656 -2017 [34]	Нормативно-техническая база не в полной мере соответствует уровню и темпам развития предметной области и научно-методических средств.	
8.	Автоматическое управление; Стабилизация параметров механики; Обеспечение устойчивости и чувствительности управления; Расчет параметров микропрограммного управления.	Автоматика и телемеханика; Телеметрия; Теоретическая механика; Аэродинамика; Микропроцессорное управление и схемотехника; Теоретические основы радиоэлектроники; Количественная теория связи; Имитационное моделирование физических процессов.	В.Г.Евграфов В.В.Шубин Р.М.Юсупов А.Н.Печников В.Н.Рамбов К.Шеннон и др.	ГОСТ 28806 -90 [19] ГОСТ 15971-90 [17] ГОСТ 34.201-89 [11] ГОСТ 34.601-90 [12] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27] ГОСТ 28195-1989 [24] ГОСТ Р ИСО 12207-2010 [32] ГОСТ Р ИСО 15288-2005 [22] ГОСТ Р ИСО 31000- 2010 [23] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 [20] ГОСТ Р ИСО 15910-2002 [17] ГОСТ Р ИСО 9126-1993 [25] ГОСТ Р 51901.1-2002 [31]	Нормативно-техническая и научно-методическая база достаточно полная.	Наибольшее покрытие нормативно-технологическими и научно методическими средствами

Установление соответствия основных направлений исследований в квалиметрии и документов нормативно-технического регулирования, нашедших применение при разработке ПК управления МКС, в свою очередь, проведено путем определения применимости прикладного научно-методического инструментария, и развивающего его парка нормативно-технологических средств, формируемых основными квалиметрическими школами в сфере создания программно-информационных систем при разработке исследуемых программных комплексов и их гетерогенных программных компонент. Очевидно, что указанное установление соответствия во многом носит субъективный характер, но в условиях данного частного исследования этот факт не имеет принципиального значения. В результате, на данном шаге частного исследования удалось констатировать вывод, что направления современной квалиметрии, обосновывающие систему качества разработки ПК управления МКС, на сегодняшний день широко представлены в рамках существующей в РФ системы нормативно-технического регулирования процессов разработки и формирования качества наукоемкого и технологически сложного программного обеспечения. Это позволило констатировать, что в рамках частного исследования учтено всё множество актуальных государственных стандартов, используемых в программном секторе экономики. Результаты описанного установления соответствия представлены в таблице 1.2.2.

При этом технологическая система разработки ПК управления МКС в данном диссертационном исследовании рассматривается как структурированная совокупность технических и программных средств разработки программного кода для указанных комплексов, дополнительной технологической оснастки, разработчиков (инженеров-программистов, программистов-кодировщиков, программистов- системных архитекторов, исполнителей и пр.), управленческого персонала, методик реализации базовых процессов разработки и формирования качества ППО и функциональных связей между ними, нацеленных на исполнение в заранее регламентированных условиях промышленной разработки технологических работ, способов и приемов программирования.

Таблица 1.2.2. – Соответствие основных направлений исследований в квалиметрии и документов нормативно-технического регулирования, нашедших применение при разработке ПК управления МКС

№	Направления современной квалиметрии, обосновывающие систему качества разработки ПК управления МКС	Видные специалисты данного направления исследований в квалиметрии	Научно-методический инструментальный для контроля качества программных и информационных компонент ПК управления МКС	Основные виды программных и информационных компонент ПК управления МКС, для контроля качества которых используется научно-методический инструментальный	Документы по организации нормативно-технического контроля и улучшения качества ПК управления МКС и их компонент	Примечания
1.	Метод качественно-количественного оценивания	В.А.Ядов Д.Хейс	Методики общей вербальной оценки тенденций изменения качества	Делаются первичные оценки в процессе комплексирования компонент (не является оценкой в строгом понимании термина)	ГОСТ Р ИСО 9000-2015[13] ГОСТ Р ИСО 9001-2015[14] ГОСТ 28195 -90 [24]	Применяется крайне редко, как средство для первичного и быстрого анализа изменений качества.
2.	Методы оценки компонент программного обеспечения на базе формальной (измеряемой, строгой) метрики	Д.Холстед; Н. Кабак; В.В.Липаев; Р.Горальский и др.	Метрика Холстеда и её производные, базирующиеся на анализе количества и соотношения основных синтаксических элементов кода программной компоненты	Анализируются все низкоуровневые программы (драйверы, утилиты устройств и пр.), а также код расчетных компонент при дефиците ресурсов.	ГОСТ 28195 -90 [24] ГОСТ 15971- 90 [18] ГОСТ 34.201-89 [11] ГОСТ 34.601-90 [12] ГОСТ Р ИСО 9126-1993 [25] ГОСТ Р 51 901.2 -2005 [27]	Область применения существенно ограничена.
3.	Методология пользовательской оценки полезности программного обеспечения	М.Джилб; С.Д.Бешелев; Ф.Г.Гурвич; С.А.Айвозян; В.С.Черепанов и др	Метрика Джилба и её производные, базирующиеся на экспертном оценивании показателей полезности программного обеспечения.	Оценивается качество разработки динамически подключаемых библиотек прикладных программ, функций и отдельных функциональных процедур	ГОСТ Р ИСО 27000 – 2015[21] ГОСТ Р ИСО 25010 - 2015[20] ГОСТ Р ИСО 31010 - 2011[26] ГОСТ Р 51904-2002 [16] ГОСТ 28806-90 [19] ГОСТ Р ИСО 27000 – 2015[21]	
4.	Теория и методы инженерно-экономического проектирования программных продуктов	Б.Боэм; Д.Браун; Т.Лайпоу; Р.А.Червинский; и др.	Метрика Боэма, Брауна и Лайпоу, комплекс методик оценки качества на базе указанной метрики; концепция менеджмента качества.	Программные серверы для решения комплексов задач, моделирования; серверы баз данных; толстые клиенты и др.	ГОСТ Р ИСО 15910-2002 [17] ГОСТ Р ИСО 12207-2010 [15] ГОСТ Р ИСО 27000 - 2015 [21] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [14] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015[20] ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [13]	
5.	Методология экспертно-статистического оценивания характеристик программного и	Р.И.Азгальдов; О.С.Райхман; А.С.Васильев; Б.В.Бойцов С.Д.Бешелев;	Композиция численных методик инженерно-экономического проектирования и формирования качества программного и	Реализация процедур тестирования всех видов программного обеспечения для обеспечения заданных параметров безотказного и безошибочного	ГОСТ 28806 -90 [19] ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [13] ГОСТ Р ИСО27000-2015 [21] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [14] ГОСТ Р ИСО 25010-2015[20]	Инструментарий может применяться не только в предметной области разработки

	информационного обеспечения	Ф.Г.Гурвич; С.А.Айвозян; В.С.Черепанов; и др.	информационного обеспечения.	функционирования программных компонент	ГОСТ Р 51 901.4 – 2005 [30] ГОСТ Р 51 901.3 -2007[28] ГОСТ Р 51 901.5-2005 [29] ГОСТ Р 51 901.2 -2005[27]	структурированного ПО.
6.	Методология квалитметрической выборочной совокупности	Д.Джуран; Э.Деминг; Ф.Тэйлор; У.Шухарт; А.Фейгенбаум И др.	Цикл улучшений качества по Шухарту, принципы Э.Деминга при формировании качества разработок, спиральный цикл формирования качества по Д.Джурану.	Подсистемы управления базами данных; базы знаний; экспертные подсистемы и подсистемы интеллектуальной поддержки	ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [13] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [14] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015[13] ГОСТ Р ИСО27000-2015 [21] ГОСТ Р ИСО 15910-2002 [17] ГОСТ Р 51904-2002 [16] ГОСТ Р 57773-2017 [33]	
7.	Инжиниринговое моделирование качества, методология охватывающего управления качеством в компании - разработчике	К. Исикава; Г. Тагути; Ш.Шинго; С.Синго; А.Г.Варжапетян; В.М.Балашов; и др.	Диаграммы Исикавы; метод робастного управления процессами; процессная модель качества.	Общая организация разработки компонент программного обеспечения, результативность процессов комплексной стыковки и отладки	ГОСТ 28195 -90 [24] ГОСТ 34.201-89 [11] ГОСТ 34.601-90 [12] ГОСТ Р ИСО31000 - 2010 [23] ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [13] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [14] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015[13] ГОСТ Р ИСО27000-2015 [21]	
8.	Всеобъемлющий контроль качества согласно модели TQM	Т.Петерс; Ф.Кросби; К.Меллер; М.Болдридж; Е.Г.Семенова; Г.И.Коршунов; С.В.Мичурин; и др.	Концепция качества по Т.Петерсу; Модель контроля качества TQM; квалитметрическая RADAR-матрица; методики достижения делового совершенства.	Общеархитектурные решения по построению программной системы, по распределению функционала в системе «клиент-сервер- база данных»; решения по инсталляции на специфической аппаратной платформе.	ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [13] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [14] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015[13] ГОСТ Р ИСО27000-2015 [21] ГОСТ Р ИСО 15910-2002 [17] ГОСТ Р ИСО 12207-2010 [15] ГОСТ 28195-1989 [24] ГОСТ 34601-1990 [12] ГОСТ Р 51904-2002 [16] ГОСТ Р 57773-2017 [33]	
9.	Управление рисками при обеспечении качества программных продуктов	А.И.Губинский; Т. Де-Марко; П.М.Дюваль С.Макконел; и др.	Методики риск-менеджмента для процедур обеспечения надежности и глубокого тестирования программного обеспечения	Глубокое тестирование и системная отладка кода программных решений в многоуровневых функциональных системах	ГОСТ Р ИСО 31 000-2010 [23] ГОСТ Р ИСО 31 010 -2011[26] ГОСТ Р 51 901.1 – 2002[31] ГОСТ Р 51 901.2 – 2005[27] ГОСТ Р 51 901.3 – 2007[28] ГОСТ Р 51 901.4 – 2005[30] ГОСТ Р 51 901.5 – 2007[29] ГОСТ Р ИСО 12207-2010 [15]	Носит более системный характер; инструментарий ориентирован на организационно-технические процедуры формирования качества

В свою очередь, система качества (система управления качеством, система контроля качества при формировании и пр.) в данном исследовании рассматривается как подсистема технологической системы разработки программного кода для ПК управления МКС. Она представляет собой совокупность соответствующих исполнителей, методического и нормативно-технологического аппарата (инструментария), необходимых ресурсов и функциональных связей между ними, для воплощения в жизнь процессов выявления текущего уровня, оценки и формирования требуемого уровня качества ППО для указанных комплексов. Данное понимание и соотношение категорий «технологическая система разработки» и «система (подсистема) качества» вытекает из ГОСТ Р 40.002-2000 -Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Основные положения.

Результаты первых двух шагов частного исследования создают логическую базу для выявления уровня покрытия потребностей соответствующих технологических систем гибкой разработки ППО средствами формирования системы качества. Результаты такого выявления представлены в таблице 1.2.3. В указанной таблице рассмотрено соответствие (применимость) соответствующих актуальных ГОСТ, регулирующих различные аспекты разработки ППО в РФ, в рамках основных технологических систем методологии гибкой разработки программного обеспечения. Это технология SCRUM, технология экстремального программирования XP, и промежуточные гибридные варианты между указанными технологиями, т.е. в своей совокупности, согласно гистограммам на рисунке 1.1.7., это самые популярные технологии гибкой разработки высокотехнологичного ППО. При этом принята следующая система обозначений оценок:

- + - стандарт соответствует и применим в рамках рассматриваемой технологии;
- +/- стандарт может быть применен в рамках данной технологии, но ограниченно;
- - стандарт не соответствует и применение его в рамках данной технологии затруднительно.

Таблица 1.2.3.- Результаты анализа уровня покрытия потребностей соответствующих технологических систем гибкой разработки ППО средствами формирования системы качества

Нормативно-технические средства формирования системы качества	Технологии гибкой разработки ППО			Примечания
	Scrum	XP	Scrum/XP-Hybrid	
1. ГОСТ 34.601-90 [12]	-	-	+	Объективно устарел
2. ГОСТ 34.201-89 [11]	-	-	+/-	Объективно устарел
3. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [13]	+/-	+	+/-	
4. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [14]	+/-	+	+/-	
5. ГОСТ Р ИСО 25010 -2015[13]	+	+	+	Распространяется на организационно-технические процедуры
6. ГОСТ Р ИСО27000-2015 [21]	+	+	+	Распространяется на организационно-технические процедуры
7. ГОСТ Р ИСО 12207-2010 [15]	-	+/-	+/-	
8. ГОСТ Р 51904-2002 [16]	-	-	+/-	
9. ГОСТ Р ИСО 15910-2002 [17]	-	+/-	+	
10.ГОСТ 15971- 90 [18]	-	-	+/-	
11.ГОСТ 28806-90 [19]	-	+	+	
12.ГОСТ Р ИСО 15288-2005 [22]	-	+/-	+	
13.ГОСТ Р ИСО 31 000-2010 [23]	+/-	+	+	Распространяется на данную предметную область косвенно
14.ГОСТ 28195-1989 [24]	-	-	+/-	Объективно устарел
15.ГОСТ Р ИСО 9126-1993 [25]	-	+	+	
16.ГОСТ Р ИСО 31 010 -2011[26]	-	+	+	
17.ГОСТ Р 51 901.1 – 2002[31]	-	+/-	+	
18.ГОСТ Р 51 901.2 – 2005[27]	-	+/-	+	
19.ГОСТ Р 51 901.3 – 2007[28]	-	+/-	+	
20.ГОСТ Р 51 901.4 – 2005[30]	-	+/-	+	
21.ГОСТ Р 51 901.5 – 2007[29]	-	+/-	+	
22.ГОСТ Р 57773-2017 [33]	+/-	+	+	
23.ГОСТ Р 57656-2017 [34]	-	+/-	+/-	Распространяется на данную предметную область косвенно
24.ГОСТ Р 57668-2017 [35,36]	-	+/-	+/-	Распространяется на данную предметную область косвенно
25.ГОСТ Р 50828-1995 [37]	-	-	+/-	
<b>УРОВЕНЬ ПОКРЫТИЯ:</b>	“+” = 2 “+/-”= 4	“+” = 9 “+/-”= 10	“+” = 15 “+/-”= 10	

Полученные результаты анализа уровня покрытия потребностей соответствующих технологических систем гибкой разработки ППО средствами формирования системы качества позволяют констатировать факт того, что существующая нормативно-технологическая база не в полной мере обеспечивает эффективную возможность для создания систем качества при разработке

программного обеспечения ПК управления МКС в рамках доминирующей технологии разработки – SCRUM. Причиной констатации этого факта является вычислительная сложность, логико-алгебраическая тяжеловесность тех математических моделей квалиметрии, которые положены в основу соответствующих средств нормативно-технического регулирования. Указанные свойства классических моделей традиционной квалиметрии плохо сочетаются с требованиями оперативности оценивания качества, определяемыми методологией гибкой разработки программного обеспечения Agile. Технология SCRUM, получившая широкое распространение при разработке высоко сложного ПО, в том числе ПК управления МКС, предполагает стремительную оценку качества с точностью до установления тенденции её изменений, что компенсируется при формировании качества указанного ППО высочайшей итеративностью самого технологического процесса разработки.

Очевидно, что внедрение методологии гибкой разработки программного обеспечения Agile, вообще, и SCRUM-технологии, в частности, на различных предприятиях авиаприборостроения и в соответствующих IT-компаниях имеет свою узкую специфику, которая оказывает значительное влияние на процессы формирования качества разрабатываемых ПК управления МКС и создаваемых группировок разнородных роботизированных летательных аппаратов. Необходимость учета подобного влияния была проанализирована в ходе диссертационного исследования. Это свелось к изучению опыта передовых отечественных предприятий авиаприборостроения, занимающихся тематикой создания и управления разнородными группировками элементов МКС, решения ими сложных геопространственных и многофункциональных прикладных задач для различных сфер применения.

### 1.2.3. Характеристика технологического уровня разработки ПК управления МКС на отечественных предприятиях авиаприборостроения

Недостаточность средств нормативно-технического регулирования для создания подсистем качества в рамках технологических систем SCRUM разработки ППО для ПК управления МКС, во многом обусловленная не разработанностью научно обоснованного методического аппарата формирования и контроля качества указанных программных комплексов в рамках методологии гибкой разработки, привела к эмпирическому характеру процессов их создания, квалиметрической оценки и совершенствования. Сегодня эти процессы определяются текущей практикой разработки и применения тех или иных сред профессиональной разработки ПО для беспилотной робототехники. Действительно, в современных условиях на отечественном рынке услуг в авиаприборостроении представлено определенное число разработчиков ППО, занимающихся тематикой ПК управления МКС. В силу сложности и наукоёмкости данной предметной области число таких разработчиков не велико. Круг таких компаний является подмножеством от общности всех компаний-производителей БАК (См. Приложение В), и прежде всего, комплексных БАК, включающих в свой состав 2 и более элементов МКС различного назначения и прикладной функциональности. Объективным ограничением для сбора информации по указанным разработкам является её закрытый (в силу грифа информации) характер по некоторым из проектов. Обобщенные данные по указанным разработкам ПК управления МКС, собранный по открытым источникам, показан в таблице 1.2.4. Эти данные позволяют охарактеризовать технологический уровень разработки ПК управления МКС как очень высокий. Очевидно, что обеспечиваемый уровень нормативно-технической и научно-методической поддержки квалиметрической составляющей технологических систем разработки ПК управления МКС во многом ориентирован на более традиционные методы организации профессиональной разработки ППО, а следовательно, можно констатировать, что уровень указанной поддержки не достаточен.



Таблица 1.2.4. – Примеры промышленно поставляемых ПК управления МКС, ориентированных на отечественную радиоэлектронную компонентную базу

№	Компания разработчик/ поставщик ПК управления МКС	Изделие- аппаратная платформа на базе которого функционирует ПК	Краткое описание технических характеристик и/или возможностей	Открытый источник полным описанием
1.	АО «Концерн радиостроения «Вега» из состава Холдинговой компании «Росэлектроника» Госкорпорации «Ростех» (АО «КБ «Луч»), г. Москва	Модернизированный программно-аппаратный комплекс группового управления элементов МКС и наземными робототехническими комплексами на базе автомобиля "КамАЗ-43116"	1. Способен контролировать до 10 элементов МКС и наземных робототехнических комплексов одновременно; 2. Программно-аппаратный комплекс включает суперкомпьютер высокой производительности 3. Имеет в своем составе 5 АРМ операторов; 4. Автономность по электропитанию до 7 суток; 5. Время развертывания – не более 15 минут.	1. <a href="https://aviation21.ru/razrabotan-programmno-apparatnyj-kompleks-upravleniya-10-bpla/">https://aviation21.ru/razrabotan-programmno-apparatnyj-kompleks-upravleniya-10-bpla/</a> 2. <a href="http://www.vega.su/production/detail.php?ID=585">http://www.vega.su/production/detail.php?ID=585</a>
2.	АО «Кронштадт Технологии», АО «КТ-Беспилотные Системы»/АО «Технологии для авиации» из состава Группы компаний Кронштадт, г. Санкт-Петербург	Наземная станция управления SmartAP, в т.ч. программное обеспечение управления дронами и планирования полётного задания с облачным функционалом для любых платформ (компьютеры, ноутбуки, планшеты, смартфоны) и операционных систем (Windows, Mac OS, Android, iOS, Linux).	1. Позволяет создавать разнородные группировки элементов МКС самой различной конфигурации при использовании средств автоматизации управления группой компаний Кронштадт; 2. Обеспечивается и поддерживается прием данных от полетной полезной нагрузки на различные элементы МКС в группе, в виде камер оптического и ультрафиолетового диапазонов, тепловизоров и мультиспектральных камер, лазерных сканеров, радаров и газоанализаторов.	1. <a href="https://kronshadt.ru/products/bespilotny-e-sistemy-i-robototekhnika/aerokosmicheskie-sistemy/podsistemy-kompleksov-s-bla-itselevy-e-nagruzki/kks_glonass/">https://kronshadt.ru/products/bespilotny-e-sistemy-i-robototekhnika/aerokosmicheskie-sistemy/podsistemy-kompleksov-s-bla-itselevy-e-nagruzki/kks_glonass/</a> 2. <a href="https://russiandrone.ru/catalog/po-poletnoe-po/">https://russiandrone.ru/catalog/po-poletnoe-po/</a> 3. <a href="https://russiandrone.ru/catalog/komplektuyushchie/avtomaticheskaya-sistema-upravleniya-poletom/">https://russiandrone.ru/catalog/komplektuyushchie/avtomaticheskaya-sistema-upravleniya-poletom/</a>
3.	АО «АЭРОКОН» на базе Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ), г. Жуковский, Московская область.	Автоматизированная система управления полетом «Турман-АС» представляет собой программно-аппаратный комплекс наземного и бортового (авионика) оборудования для обеспечения автоматического полета (в т.ч. группировки разнородных элементов МКС).	1. АСУ и её ППО строятся по модульному принципу; 2. Поддержание программно-технических интерфейсов UART, USB, I <sup>2</sup> C, SPI, Ethernet; 3. Контроль поведения группировки элементов МКС по 150 параметрам; 4. Используемая операционная система в ПАК - Embedded Linux.	1. <a href="http://aerocor.ru/inspector/asu-poletom-turman-as/">http://aerocor.ru/inspector/asu-poletom-turman-as/</a> 2. <a href="http://aerocor.ru/inspector/inspector-2020/">http://aerocor.ru/inspector/inspector-2020/</a>
4.	ООО НПО «Автономные аэрокосмические системы-GeoСервис» (ООО «АВАКС-GeoСервис»), г. Красноярск	Система управления элементами МКС ООО «АВАКС-GeoСервис», способная обеспечить навигацию и управление с элементами МКС малой и большой взлетной массы, оборудованных специализированным	1. Система управления построена на базе производительного ARM-вычислителя и работает под управлением операционной системы реального времени (ОСРВ) QNX Neutrino (КПДА.10964-01);	1. <a href="http://research.sfu-kras.ru/node/12065">http://research.sfu-kras.ru/node/12065</a> 2. <a href="http://uavsiberia.com/catalog/uavs/">http://uavsiberia.com/catalog/uavs/</a>

		автопилотом АП-05 на расстоянии до 50 км.	2. Допускаются на группировки автопилоты: АП-05, СП-03, КДВС. 3. Подсистема бортового управления работает при целевой защите модуля памяти, что дает возможность без угроз для элементов МКС вводить дополнительное ППО в вычислитель.	
5.	Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», г.Санкт-Петербург	Мониторинговый комплекс с малогабаритными беспилотными вертолетами БПВ-500 (МБПВ-37-«Бриз»)	Состав комплекса: 1. Два беспилотных вертолета БПВ-500-Б соосной схемы; 2. Пункт дистанционного управления контейнерного типа, размещаемый на автомобильной базе высокой проходимости (типа «КамАЗ») или на палубе надводного корабля. Принцип управления – автономный полёт по заданному маршруту с возможностью оперативной корректировки программы полёта оператором НСУ.	1. <a href="http://www.radar-mms.com/Product.aspx?product_3_2">http://www.radar-mms.com/Product.aspx?product_3_2</a> 2. <a href="http://www.radar-mms.com/Product.aspx?product_3">http://www.radar-mms.com/Product.aspx?product_3</a> 3. <a href="http://www.radar-mms.com/Product.aspx?product_3_3">http://www.radar-mms.com/Product.aspx?product_3_3</a> 4. <a href="http://www.radar-mms.com/Product.aspx?product_3_1">http://www.radar-mms.com/Product.aspx?product_3_1</a>

Детальное изучение материалов по разработкам, приведенным в таблице 1.2.4., а также в приложении В, показывает, что доминирующей технологической парадигмой разработки именно ПК управления МКС является методология гибкой разработки ППО и присущие ей прикладные технологии разработки ППО, и прежде всего SCRUM-технология.

Эффективного повышения результативности технологической системы гибкой разработки ПК управления МКС для обеспечения их качества невозможно достичь, не учитывая факторов влияния уровня радиоэлектронной компонентной базы создания БАК. Именно уровень используемой микроэлектронных и радиотехнических комплектующих задают те возможности, которые реализуются в прикладной функциональности ПК управления МКС, как информационно-интегрирующего программного комплекса. Именно эти факторы определяют специфику и операционной среды в ПАК НСУ, и особенности работы бортовой РЭА.

### **1.3. Фактор влияния радиоэлектронной компонентной базы на качество программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентных систем**

Фундаментальным фактором определяющим функциональные возможности и качество ПАК управления МКС является уровень и надежность той радиоэлектронной, прежде всего микроэлектронной, компонентной базы на которой строится программно-аппаратный комплекс в составе НСУ, а также комплекты бортовой РЭА. Учитывая реализацию принципов потоковой обработки цифровой информации в ПК управления МКС, также влияние на их функционирование и прикладные возможности оказывает уровень исполнения радиотехнических элементов в составе ПАК. Очевидно, что чем мощнее в вычислительном смысле процессор ПАК в составе НСУ, эффективнее контроллеры микропрограммного управления приводами элементов МКС, надежнее сеть связи при развернутом на местности БАК, тем более сложные задачи могут быть решены в ПАК управления МКС и тем результативней будет влияние этого комплекса пространственного управления на процесс достижения прикладных целей.

В современных условиях радиоэлектронная компонентная база для создания ПАК управления МКС характеризуется:

1.) В части комплектации РЭА на борту аппарата за основу, как правило, берутся либо цифровые сигнальные процессоры, обеспечивающие обработку сигналов управления в оцифрованном виде (DSP-процессоры), либо компактные спецкомпьютеры типа PC/104 или Micro PC, способные поддержать работу операционных систем реального времени, таких как VxWorks, VME, XOberon, QNX и др. Указанные спецкомпьютеры представляют собой единый модуль из одноплатной материнской платы (т.е. платы с процессором, его окружением и оперативной памятью) интегрированной (слитой) с сетевой платой на расширенной шине обмена данными PC/104 (PC/104+), давшей название формату спецкомпьютера. Шина PC/104 – один из вариантов восьмиразрядной шины ISA. Посредством указанной шины организуется информационный обмен

с аэродинамическими датчиками, датчиками GPS/ГЛОНАСС, модемом связи с НСУ и пр. Такой вариант комплектации характеризуется высокой компактностью, ударопрочностью и надежностью в эксплуатации, при обеспечении достаточных показателей быстродействия обработки данных.

Питание микроэлектронной аппаратуры осуществляется на основе литий-ионных аккумуляторов, а радиотехнической на дронах большей массы – на основе литий-полимерных аккумуляторов.

2.) В части комплектации радиотехнической аппаратуры обмена цифровыми данными между элементами МКС и НСУ в составе БАК используется дуплексная подсистема модемов (трансиверов) с широким диапазоном возможностей приема-передачи цифровых данных по радиоканалам. При этом, предполагается, что трансивер (модем) в составе НСУ способен поддерживать мультиплексный режим обмена со всеми модемами из состава группировки. Концептуальная схема организации обмена данными модемом в составе НСУ показана на рисунке 1.3.1.

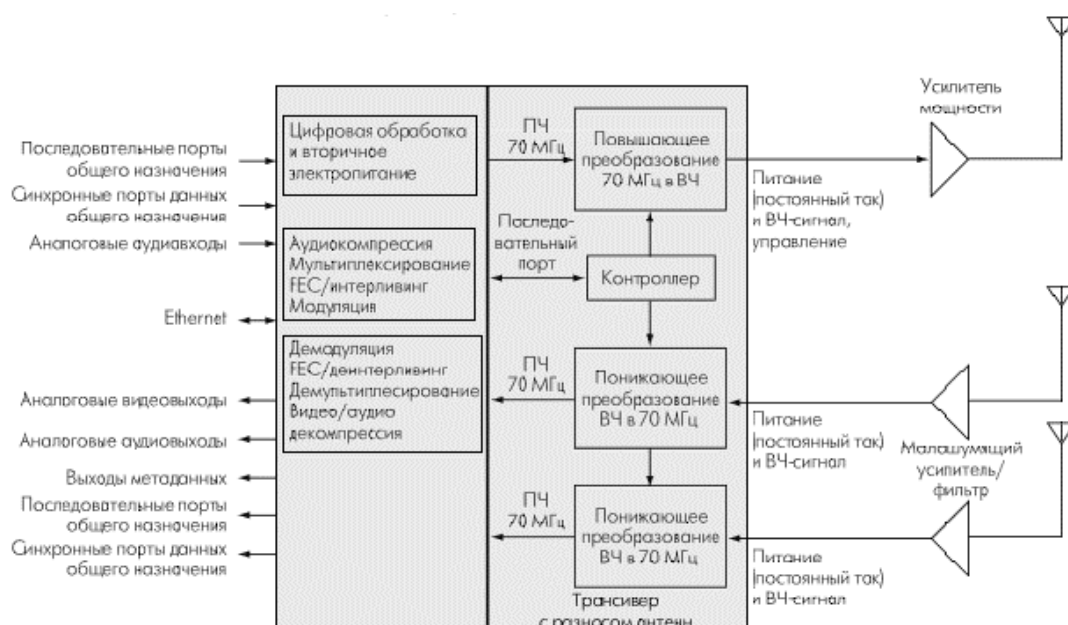


Рисунок 1.3.1. – Структура организации мультиплексного обмена на базе модема в составе НСУ

В свою очередь, модем (трансивер) на борту может поддерживать как мультиплексный режим обмена с НСУ и всеми другими модемами, что

характерно для т.н. «роевого» поведения групп малых аппаратов, так и дуплексный режим только с трансивером НСУ. Концептуальная схема организации обмена данными бортовым модемом на элементе МКС показана на рисунке 1.3.2.

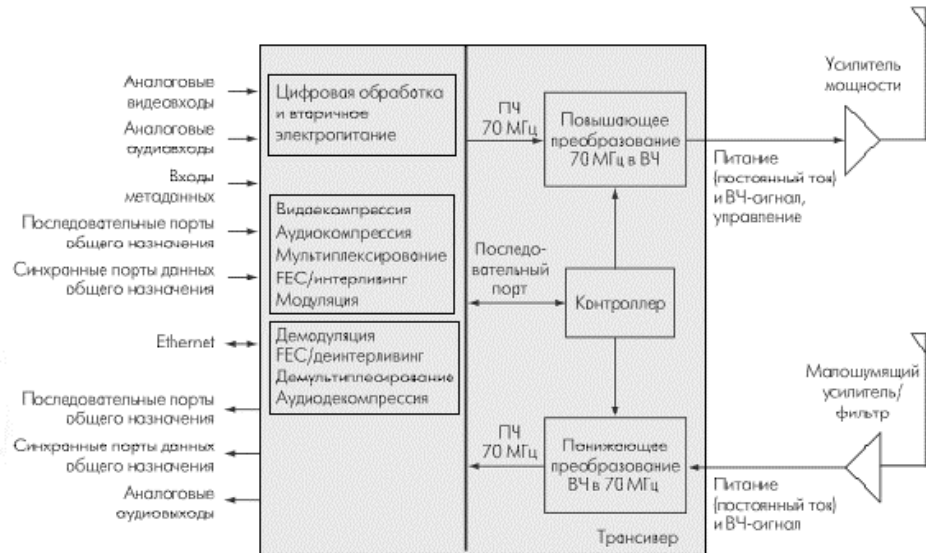


Рисунок 1.3.1. – Структура организации обмена на базе бортового модема

3.) В части комплектации программно-аппаратного комплекса, в составе НСУ, может быть сформулировано практически неограниченное множество различных вариантов подбора элементов радиоэлектронной, прежде всего микроэлектронной, компонентной базы. Данный тезис основан на результатах анализа вариантов построения ПАК в составе НСУ, представленных в таблице 1.2.4., так и на результатах изучения опыта автоматизации различных БАК, описанных в Приложении В.

Особо следует оговорить, что с информационно-технологической точки зрения развернутую в районе группировку элементов МКС, координируемую при решении конкретных задач с одного ПАК управления МКС в реальном масштабе времени следует рассматривать как распределенную, сетью-центрическую вычислительную систему, т.е. как систему из соответствующего числа независимых компьютеров, которые поддерживают реальный масштаб времени при обработке целевых данных и в этом же масштабе обмениваются цифровой информацией между собой. В частности, современные ПАК управления МКС допускают, что в них одновременно идет обработка и обмен данными между бортовыми модулями элементов МКС, несколькими

автономными приложениями на НСУ, а также между приложениями НСУ и модулями элементов МКС, и также поддерживается обмен данными с пилотируемыми ЛА, наземными робототехническими системами или другими центрами управления. Для поддержания такого уровня телекоммуникационного обмена и сетевидческой обработки информации разработан и реализован специализированный стандарт DDS (Data Distribution Service), определяющий требования к соответствующей элементной базе аппаратной платформы ПАК управления МКС и к общесистемному программному обеспечению, обеспечивающему увязывание всех частных подсистем реального времени в описанной распределенной сети.

Широкое внедрение мультиагентных алгоритмов, адаптивных методов при решении робототехнических задач и пр. объективно требуют огромных ресурсов быстродействия, вычислительной мощности и оперативной, быстродействующей памяти. Объективно такие возможности аппаратной платформы могут быть обеспечены, на сегодняшний день, именно в ПАК в составе НСУ. В полной мере данный вывод относится и к ПАК управления МКС, а значит именно формирование указанных ПАК на основе новейшей элементной базы отечественной радиоэлектроники позволит воплотить в жизнь их проектную функциональность в полном объеме. Очевидно, что непрерывное развитие и рост числа поколений элементной базы микро-радиоэлектроники и радиотехники будет предоставлять основу для расширения круга задач, решаемых как отдельными аппаратами, так и их разнородными группировками. На сегодняшний день таким объективным толчком явится внедрение цифровых технологий сетевого обмена 5G, которые обеспечат качественно новый горизонт возможностей для авиационной робототехники и средств удаленного управления ею.

Таким образом, фактор влияния радиоэлектронной и радиотехнической базы на качество ПАК управления МКС был и остается определяющим, задающим «горизонт» возможностей применения разнородных группировок элементов МКС.

## **1.4. Постановка научной проблемы и частных задач диссертационного исследования**

### 1.4.1. Формулировка научной проблемы

Методологические основы улучшения качества комплексов пространственного управления мультикомпонентными системами за счет применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания для них программных комплексов, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения, формируются на базисе научных результатов квалиметрии программного обеспечения и методов разработки наукоемких программных приложений, современной авиационной робототехники, теории иерархических систем управления, методов управления жизненным циклом продукции, принципов процессного подхода и достижений современной информатики. Однако, на базе результатов анализа, описанного в п. 1.2. и 1.3., надо постулировать текущее положение о том, что взаимоувязанного, цельного подхода к улучшению качества ПАК управления МКС за счет применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания соответствующих ПК, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения, на сегодняшний день не существует. Методология такого многоуровневого процесса как улучшение качества комплексов пространственного управления МКС не структурирована и не полна. Она формируется по междисциплинарному принципу, что, в основном, предопределяет её эклектичный характер, а следовательно, задает эмпирическую форму создания многих перспективных технологий разработки ППО для ПАК управления МКС, технологических систем разработки и совершенствования указанных программных комплексов, в частности, и авиационной роботизированной техники, в целом. В полной мере этот частный вывод относится к технологиям гибкой разработки ППО для ПАК управления МКС, которые сейчас доминируют в сфере разработки высоко

сложного программного обеспечения с потоковой обработкой цифровых данных.

Проведенный в ходе диссертационного исследования анализ публикаций, тематически связанных с:

- системологией разработки ППО для современных БАК и комплексов пространственного управления, перспективой развития микро- радио-электронной и радиотехнической элементной базой для информационных и телекоммуникационных технологий авиационного приборостроения [46,48,67,68,77,94,108];

- проблематикой совершенствования качества систем управления и программного обеспечения для элементов МКС, для управления их группами и разнородными группировками [54,56,60,65,87,88,95,96,109,120];

- спецификой внедрения методологии гибкой разработки программного обеспечения Agile в различных компаниях софтверной индустрии [10,44,74,81,91,93,105];

позволил прийти к сводному заключению о приоритетности и доминированию SCRUM-технологии при разработке ПК управления МКС, как одной из технологий, реализующей методологию гибкой разработки ППО. Однако, предметная область разработки ППО для авиационной робототехники предъявляет свои специфические требования к ППО управления разнородными группировками элементов МКС, в силу чего полноценное внедрение технологических систем гибкой разработки указанных ПК ограничено отсутствием возможностей:

- оперативной и эффективной оценки достигаемого уровня качества на каждой итерации технологического процесса разработки;

- рационального анализа путей и синтеза плана итеративного преодоления выявляемых аномалий качества ППО;

- построения полноценных подсистем качества в рамках технологических систем гибкой разработки ПК управления МКС, в силу малой применимости



традиционного научно-методического и нормативно-технического квалиметрического аппарата;

- достижения высокой и управляемой результативности технологической системы гибкой разработки ПК управления МКС.

Наличие приведенных ограничений задает существование научной проблемы улучшения качества комплексов пространственного управления МКС. Её разрешение представляется возможным путем предложения методологически целостного аппарата оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы разработки соответствующих ПК для ПАК управления МКС, обеспечивающего улучшение этого качества путем совершенствования квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки прикладного программного обеспечения.

Именно в синтезе детально обоснованного научного виденья целостных теоретических основ улучшения качества ПАК управления МКС за счет применения обобщающих концепции и научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания ПК в их составе, реализующих методологию гибкой разработки программного обеспечения, заключается исследовательская суть научной проблемы, разрешаемой в текущем диссертационном исследовании.

Представленная научная проблема лежит в области исследований научной специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции» и соответствует формуле этой специальности, так как ее разрешение направлено на повышение результативности технологических систем производства приборов управления элементами МКС и их разнородными группировками, на совершенствование соответствующих подсистем управления качеством ПК управления МКС при создании и серийном производстве МКС [64].

Разрешение указанной научной проблемы контролируемого улучшения качества комплексов пространственного управления МКС предполагается как последовательное решение следующего круга частных научных задач:

1. развитие научно-методический аппарата совершенствования технологической системы создания программных комплексов для ПАК управления группировками элементов МКС за счет реализации гибкой методологии разработки программного обеспечения Agile;

2. обеспечение возможности выхода на более высокий уровень типизации процедур задания облика и разработки ПАК управления МКС через значительное расширение объемов фиксации многофакторности в процессах проектирования, создания и практического применения. При этом должен учитываться уровень элементной базы микро- радиоэлектронной и радиотехнической аппаратуры, создающей аппаратную платформу для их развертывания;

3. адаптация аппарата квалиметрической оценки ПК управления МКС к технологической системе разработки, определяемой методологией гибкой разработки программного обеспечения, за счет учета её итеративности и многоэтапности;

4. создание перехода на качественно новый уровень процесса целенаправленного выявления недостатков компонент программного кода ПК управления МКС, за счет обобщения и типизации таких недостатков;

5. повышение обоснованности проектных решений при создании ПК управления МКС, путем введения отношений строгого порядка между стратегиями улучшения качества в базовой технологии их разработки;

6. достижение полноценного контроля уровня итеративности технологии создания ПК управления МКС за счет учета риска для безошибочности и устойчивости их функционирования;

7. обеспечение высокой обоснованности решений по целеполаганию в процессе разработки ПАК управления МКС за счет агрегирования механизмов метода структурирования функций качества (QFD-метода), качественно-количественного анализа в состав технологической схемы их разработки, формирования;

8. оценка эффективности и степени достоверности результатов научно-технических разработок по вышеперечисленным частным научным задачам 1-7.

В ходе анализа предметной области диссертационного исследования и структурированной постановки научной проблемы, выявления составляющих её частных научных и научно-технических задач определены основные научные дисциплины (базовые направления научных исследований), которые создают методологическую основу для проведения текущего исследования. К таковым научным дисциплинам можно отнести:

- методология гибкой разработки программного обеспечения для автоматизации управления робототехническими системами;
- теоретическая квалиметрия, базирующаяся на исследованиях существующих практик системного улучшения качества многоуровневых программных систем (в т.ч. QFD-метода);
- методы, методики и технологии синтеза прикладного программного обеспечения для роботизированных авиационных комплексов и систем;
- применение объектно-ориентированного подхода к разработке программных, программно-аппаратных комплексов и систем;
- методы экспертно-статистического оценивания и проверки статистической значимости, теории вероятностей, анализа случайных величин;
- разные методики синтеза интегральных показателей качества, процессный подход к разработке промышленного (технологического) программного обеспечения;
- риск-менеджмент, методы управления рисками.

Выше приведенные основные научные дисциплины (базовые направления научных исследований) выступают в текущем исследовании в качестве методологической платформы по обоснованию логически целостного аппарата оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания ПК в составе ПАК управления МКС, обеспечивающего улучшение этого качества путем совершенствования квалиметрических

аспектов методологии гибкой разработки программного обеспечения, по совершенствованию качества комплексов управления МКС.

#### 1.4.2. Научный характер и актуальность исследования

Научный характер текущего исследования заключается в общности синтезируемых научных и научно-технических результатов (положений, выносимых на защиту) для предметной области программно-аппаратных комплексов управления МКС, результативности технологической системы создания ПК для них, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения и обеспечивающей их высокое качество.

Актуальность текущего диссертационного исследования заключается в объективной необходимости разрешения объективного противоречия между последовательно-итеративным характером разработки прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС в рамках доминирующей технологии процесса его создания и громоздким (тяжеловесным) научно-методическим аппаратом оценки, улучшения его качества. Существо сторон этого противоречия можно пояснить так:

- Достижение высокой эффективности и безопасности совместного применения элементов МКС являются целью создания комплексов пространственного управления разнородными роботизированными авиационными группировками (ПАК управления МКС). Такие комплексы обладают беспрецедентным уровнем программно-технологической сложности используемого прикладного программного обеспечения. Именно функционал программных комплексов определяет прикладные возможности современных ПАК управления МКС. Сегодня доминирующей технологией (технологической системой) создания ПК управления МКС для указанных ПАК является SCRUM-технология, реализующая соответствующую методологию гибкой разработки программного обеспечения. Она характеризуется последовательно-итеративным улучшением качества создаваемых программных комплексов и ориентирована не на получение полновесного заключения о достигнутом уровне качества на

каждой итерации разработки, а на оперативный анализ тенденции в изменении качества, поиск соответствующих аномалий;

- Однако, вся совокупность современных методов, методологических средств и соответствующих им прикладных методик управления качеством программного обеспечения для авиационного приборостроения ориентирована именно на формирование точного и объемлющего заключения о текущем уровне качества. Это вызывает к жизни использование методологически-сложного и алгебраически-громоздкого (“тяжеловесного”) математического аппарата современной квалиметрии, что объективно блокирует его применимость в рамках методологии гибкой разработки программного обеспечения.

Необходимо также указать, что логически-систематизированный методологический аппарат оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания программных комплексов для ПАК управления МКС, обеспечивающий улучшение этого качества путем совершенствования квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки программного обеспечения, необходим для преодоления существующего эмпирического характера используемых нормативно-технических и организационно-технологических методик, приемов по разработке ППО для авиационной робототехники. Именно в этом заключается теоретическая значимость текущего научного исследования. Обоснование общего методологического базиса улучшения качества и повышения результативности процесса создания ППО для ПАК управления МКС позволяет значимо снизить затраты на разработку, внедрение, использование и развитие указанных комплексов. Предлагаемый в работе и выносимый на защиту методологический аппарат, в практическом аспекте дальнейшего использования, может найти свое прямое применение:

- в качестве методологической основы для инструментария инженеров-системотехников, специалистов по контролю качества при создании указанных программно-аппаратных комплексов и соответствующих приборных систем;

- при развитии квалиметрических методов и методик для методологии гибкой разработки программного обеспечения (Agile);
- при разработке соответствующих НИОКР по тематике авиационного приборостроения;
- в образовательном процессе ВУЗов авиационного приборостроения.

Таким образом, методологически целостный аппарат оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания программных комплексов для ПАК управления МКС, обеспечивающий улучшение этого качества путем совершенствования квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки программного обеспечения включает в свой состав следующие компоненты, являющиеся научными результатами (научными положениями) текущего исследования, которые выносятся на защиту:

1. Концепция контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления разнородными роботизированными авиационными группировками;
2. Методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС;
3. Метод рекурсивной оценки качества ПК управления МКС;
4. Комплекс моделей аномалий качества ПК управления МКС;
5. Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС;
6. Метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС;
7. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС.

Далее в работе последовательно детализируется содержание указанных научных результатов, посредством чего раскрывается тема работы, в целом.

### 1.5. Выводы по I главе

1. В последнее десятилетие на передний край разработки и комплексирования различных элементов МКС в составе БАК стала выдвигаться проблематика сбалансированного создания разнородных роботизированных группировок. По мере повышения уровня роботизированности повышается уровень сложности задач, которые приходится решать с их помощью. Однако, объективная необходимость использовать в различных частных подзадачах сложных задач принципиально разных типов и классов ведет к тому, что при реализации реальных и длительных операций с применением БАК применяют группировки разнотипных авиароботов. Целенаправленное осуществление управления группировками МКС на современном уровне уже невозможно без применения специальных программно-аппаратных комплексов пространственного управления. Комплексы пространственного управления группировками разнородных МКС представляют собой высокотехнологичные программно-аппаратные изделия с многоуровневой функциональной архитектурой. Они обладают беспрецедентным уровнем программно-технологической сложности. Именно качество их создания, разработки их ППО определяет уровень целевой эффективности и безопасности совместного применения элементов МКС из состава разнородной группировки.

2. Сложность разработки и построения прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС объективно вытекает из специфики его целевого предназначения, задающего требования высокоэффективной поддержки решений операторов управления группировками МКС, в сочетании с ограничениями на предоставление вычислительных ресурсов аппаратно-программной платформы. Базовый характер технологии потоковой обработки информации для интеграции возможностей всех остальных частных методов обработки информации значительно усложняет процесс разработки ПК в состав ПАК управления МКС, что также резко отягощает процесс контроля и обеспечения их качества. Конгломерат наукоемких программных технологий обработки данных и знаний, комплекслируемый в рамках конкретных реализаций

ПК управления МКС является трудносовместимым и неустойчивым. Именно это является главной угрозой для обеспечения высокого качества указанных программных комплексов, разрабатываемых для ПАК управления МКС.

3. Организационные технологии, базирующиеся на методологии гибкой разработки, предпочитают более 70% разработчиков высокотехнологичного ППО, при этом доминирующей технологической системой разработки программных продуктов является технология Scrum и гибриды на её основе (Предпочтительность более 50%). Данный вывод в полной мере распространяется и на разработку ПК управления МКС, как программные системы потоковой, параллельной обработки цифровых данных. Формирование качества ПК управления МКС всецело зависит от технологической системы их разработки, её результативности и возможностей развертывания в её рамках соответствующей подсистемы качества. Scrum-технология разработки ППО предполагает высочайшую итеративность не только в получении новой функциональности, но и в достижении требуемого уровня качества программного изделия. Основным конструктивом технологии Scrum, как конкретной технологической системы, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения Agile, по сравнению с другими технологиями данной методологии является сочетание креативно-творческой мотивации команды разработчиков, свойственного методам экстремального программирования, с необходимым уровнем организационного планирования и управления процессом разработки программного обеспечения. Именно это сочетание обусловило те преимущества, которые выгодно отличают Scrum-технология от других технологий разработки прикладного программного обеспечения.

4. Полученные результаты анализа уровня покрытия потребностей соответствующих технологических систем гибкой разработки ППО средствами формирования системы качества позволяют констатировать факт того, что существующая нормативно-технологическая база не в полной мере обеспечивает эффективную возможность для создания систем качества при разработке



программного обеспечения ПК управления МКС в рамках доминирующей технологии разработки – SCRUM. Причиной констатации этого факта является вычислительная сложность, логико-алгебраическая тяжеловесность тех математических моделей квалиметрии, которые положены в основу соответствующих средств нормативно-технического регулирования. Указанные свойства классических моделей традиционной квалиметрии плохо сочетаются с требованиями оперативности оценивания качества, предопределяемыми методологией гибкой разработки программного обеспечения Agile. Технология SCRUM, получившая широкое распространение при разработке высоко сложного ПО, в том числе ПК управления МКС, предполагает стремительную оценку качества с точностью до установления тенденции её изменений, что компенсируется при формировании качества указанного ППО высочайшей итеративностью самого технологического процесса разработки.

5. Фактор влияния радиоэлектронной и радиотехнической базы БАК на качество ПАК управления МКС был и остается определяющим, задающим «горизонт» возможностей применения разнородных группировок МКС.

6. Методологические основы улучшения качества комплексов управления МКС за счет применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания ПК для них, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения, формируются на базисе научных результатов квалиметрии программного обеспечения и методов разработки наукоемких программных приложений, современной авиационной робототехники, теории иерархических систем управления, методов управления жизненным циклом продукции, принципов процессного подхода и достижений современной информатики..

7. Гипотеза диссертационного исследования состоит в том, что если суметь предложить методологически целостный аппарат оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания программных комплексов для ПАК управления МКС, обеспечивающий

улучшение этого качества путем совершенствования квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки программного обеспечения, то это позволит добиться роста результативности указанной технологической системы, улучшения качества искомых ПАК.

8. Актуальность текущего диссертационного исследования заключается в объективной необходимости разрешения объективного противоречия между последовательно-итеративным характером разработки прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС в рамках доминирующей технологии процесса его создания и громоздким (тяжеловесным) научно-методическим аппаратом оценки, улучшения его качества.

9. Научный характер текущего исследования заключается в общности синтезируемых научных и научно-технических результатов (положений, выносимых на защиту) для предметной области программно-аппаратных комплексов управления МКС, результативности технологической системы создания ПК для них, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения и обеспечивающей их высокое качество.

10. Методологически целостный аппарат оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания ПК для ПАК управления МКС, обеспечивающий улучшение этого качества путем совершенствования квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки программного обеспечения включает в свой состав следующие компоненты, являющиеся научными результатами (научными положениями) текущего исследования, которые выносятся на защиту:

- Концепция контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления МКС;
- Методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС;
- Метод рекурсивной оценки качества ПК управления МКС;
- Комплекс моделей аномалий качества ПК управления МКС;

- Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС;
- Метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС;
- Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС.

11. Предлагаемый в работе и выносимый на защиту методологический аппарат, в практическом аспекте дальнейшего использования, может найти свое прямое применение в качестве методологической основы для инструментария инженеров-системотехников, специалистов по контролю качества при создании указанных программно-аппаратных комплексов и соответствующих приборных систем, при развитии квалитетических методов и методик для гибкой методологии разработки программного обеспечения (Agile), при разработке соответствующих НИОКР по тематике авиационного приборостроения, в образовательном процессе ВУЗов авиационного приборостроения.

## **Глава 2. Методологические основы улучшения качества комплексов управления мультикомпонентными системами**

### **2.1. Научная концепция контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами**

#### **2.1.1. Формирование качества ПАК управления МКС, современное состояние проблематики его контроля и улучшения**

Процесс создания программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами понимается, в контексте объекта и предмета данного диссертационного исследования, как процесс формирования, комплексирования и оснащения ППО специализированных, автоматизированных систем управления группировками элементов МКС, в состав которых обязательно входят элементы распределенных роботизированных комплексов. То есть, в состав разнородной роботизированной группировки могут входить не только элементы МКС, но и наземные роботы или пилотируемые аппараты. При этом ПАК управления МКС рассматривается как синоним понятия «программно-аппаратные комплексы управления разнородными МКС». Пример указанного ПАК управления МКС показан в [3]. Такой процесс создания ПАК управления МКС и реализации его функционала может быть рассмотрен как последовательная совокупность трех основных этапов работ:

- 1.) Предметное (конкретное) проектирование реализации ПАК управления МКС согласно технического задания (ТЗ) или проработанных технических условий (ТУ) заказчика, выработка конкретизированного технического проекта указанного ПАК с проработкой перечня функциональных возможностей, оформление комплекта конструкторской, программной и исполнительной документации;

- 2.) На основании проектного решения, полученного на предыдущем этапе работ, формирование аппаратной платформы (аппаратного обеспечения) создаваемого ПАК управления МКС, отвечающего всем требованиям соответствующего ППО, которое является определяющим в

задании функциональных возможностей всего программно-аппаратного комплекса управления разнородными элементами МКС;

3.) Разработка, инсталляция, комплексная стыковка и отладка прикладного программного обеспечения, реализующего итоговый функционал управления роботизированными и взаимодействующими аппаратами.

Указанное концептуальное представление процесса создания программно-аппаратных комплексов управления показано на рисунке 2.1.1.

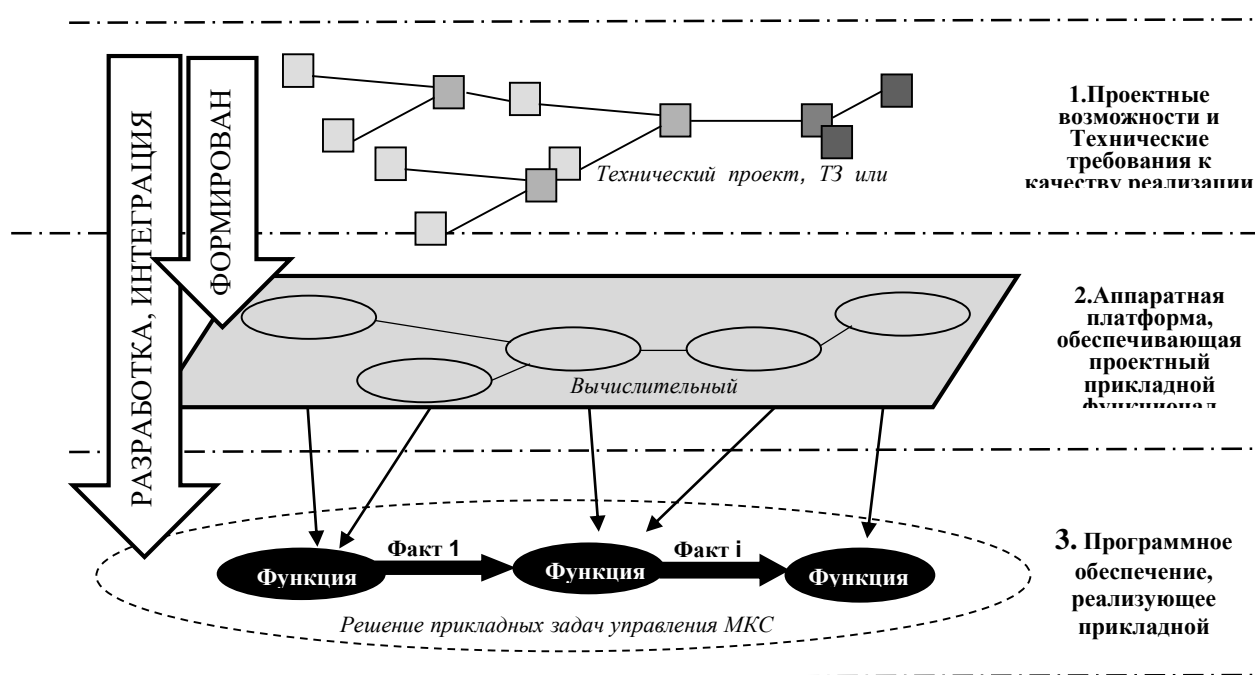


Рисунок 2.1.1. – Концептуальное представление процесса создания ПАК управления МКС и реализации его функционала

Приведенное представление исходит из того, что формирование аппаратной платформы в современных ПАК управления МКС носит «подчиненное» значение по отношению к разработке соответствующего прикладного ПО, т.к. именно в рамках ППО сегодня реализуется основная функциональность решения задач управления группировкой элементов МКС. Именно поэтому основную сложность и наибольший объем трудозатрат составляет подпроцесс разработки и отладки именно ПК управления МКС для указанных ПАК.

В современных условиях для создания различных программно-аппаратных комплексов поддержки процессов управления и обработки информации характерно «перетекание» самых разнообразных прикладных функций из

области аппаратного решения в область программных или комбинированных решений. ПАК управления МКС, в указанном смысле, не является исключением. Аппаратная платформа в составе ПАК управления МКС сегодня формируется на базе типизированных решений вычислительных устройств, модулей памяти и пр. Такая типизация позволяет достичь контролируемых параметров надежности, архитектурной сложности, стоимости создаваемого аппаратного обеспечения ПАК управления МКС, а следовательно управляемых условий формирования качества указанной аппаратной платформы. Изначально проектные решения радиоэлектронных и микроэлектронных комплектующих, создаваемой аппаратной платформы разрабатываются с запасом реализуемых возможностей вычислительного процесса, ресурсным заделом, что само по себе определяет модификационные возможности ПАК. При таком подходе существо указанной модернизации или развития ПАК управления МКС сводится именно к оперативной доработке их ППО, реже ОПО и ППО. Очевидны также и выгоды «переноса» предметной функциональности управления МКС в область программных решений при рассмотрении вопросов отладки и устранения ошибок проектного, структурного и системного характера.

Принципиальной особенностью технологической системы создания ПАК управления МКС является сочетание того, что аппаратная платформа указанных комплексов, как правило, единожды проектируется и далее в каждой реализации формируется из готовых комплектующих, согласно спроектированной спецификации, а программное обеспечение в базовом варианте единожды разрабатывается, но в каждой реализации проходит частичную доработку, донастройку со специфической инсталляцией, комплексную стыковку и отладку на конкретной реализации аппаратной платформы и пр. По существу, в рамках технологической системы процессы разработки и процессы доработки-модификации, инсталляции и стыковки практически не делимы.

Таким образом, обоснованным является считать, что качество ПАК управления МКС определяется не столько их аппаратной платформой, при её формировании на базе типизированных решений модульной радио-микро-

электроники, сколько соответствующим прикладным ПК. Этот факт диктует необходимость более детального рассмотрения процесса разработки ПК управления МКС в свете современной проблематики квалиметрии и управления качеством.

Проблематика и вся сложность процессов результативной разработки ППО широко известна и описана в [7,8,39,41,42,49,52,94,122,123]. В равной степени данная проблематика относится к созданию и ПК управления МКС, что обуславливается в современных условиях необходимостью реализовывать в указанных ПК принципов гармонизации, интеграции и слияния информации от гетерогенных источников; реализовывать потоковую обработку цифровой информации и пр. Роль управления качеством ПК управления МКС в процессе их разработки заключается в обеспечении поэтапного целеполагания в вопросах достижения требуемого качества для всей технологической системы их разработки. Это позволяет рассматривать всю подсистему качества технологической системы создания ПАК управления МКС как средство итеративного снижения неопределенности в процессе формирования аппаратной платформы и разработки программного обеспечения для указанных комплексов. Суть такого подхода хорошо согласуется с классическими практиками известных квалиметрических школ софтверной индустрии, в частности, с теорией инженерно-экономического проектирования программных систем и комплексов Б.Бозма [7,8,97] и работами современных представителей этого научного направления, таких как С.Макконелл [122,123].

Так, в частности, согласно [122], динамика неопределенности в определении объема необходимых работ, трудоемкости, времени потребного для реализации проекта по разработке ПК управления МКС адекватно описывается классическим конусом неопределенности Стива Макконелла. Такой график, имеющий форму сложного конуса, показывает, что первоначальная ошибка в оценке указанных параметров по разработке проектов наукоемкого и сложного ППО может достигать четырех кратного отклонения от истинного значения, которое становится очевидной только при завершении проекта разработки. В

[122] показаны основные этапы в жизненном цикле проекта разработки ППО, которые определяют знаковые шаги снижения указанной неопределенности. На рисунке 2.1.2. такие этапы показаны применительно к проектам разработки ПК управления МКС.

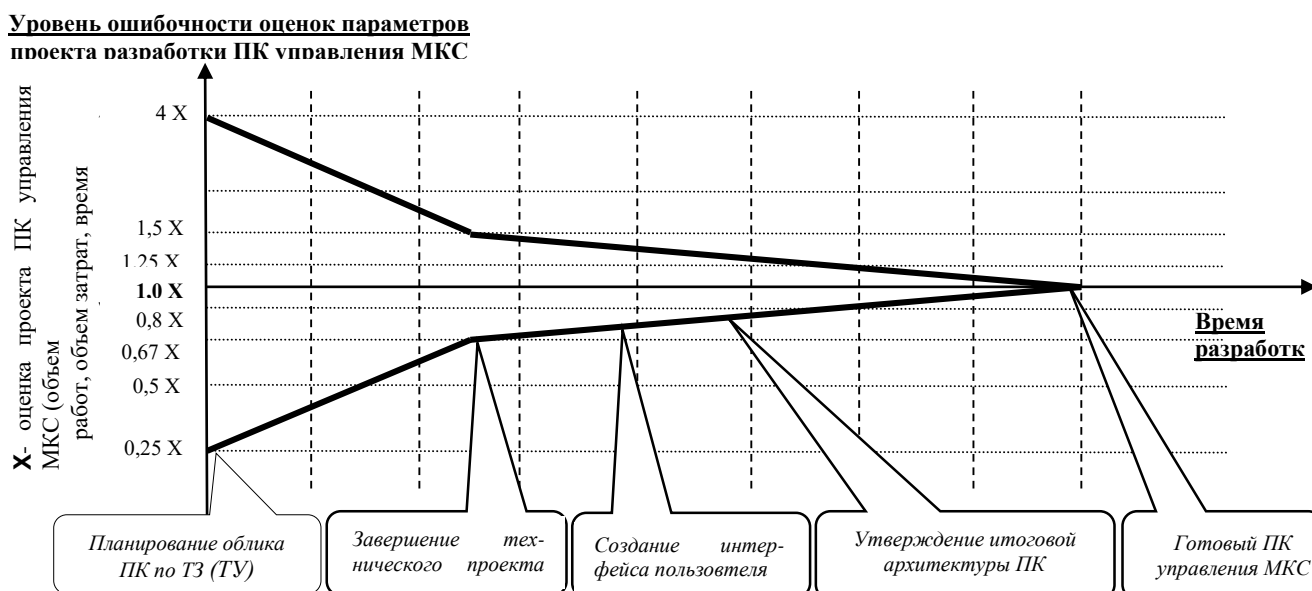


Рисунок 2.1.2. – Классический конус неопределенности С.Макконела, описывающий динамику неопределенности в разработке ПК управления МКС

Приведенный классический конус неопределенности С.Макконела, описывающий динамику неопределенности в разработке ПК управления МКС, показывает динамику изменения во времени неопределенности по части ряда ключевых параметров проекта разработки, которую допускает опытный разработчик-руководитель проекта разработки. Этот график составлен путем обобщения опыта десятков крупных проектов разработки в ряде компаний западной софтверной индустрии, согласно [122].

В рамках технологической системы разработки SCRUM, доминирующей сегодня при создании ПК управления МКС, в таковой роли выступает продукт-оунер, который осуществляет взаимодействие с заказчиком и является носителем институционального понимания того, какой облик должен принять создаваемый программный продукт. Очевидно, что ошибки указанных параметров проекта создания ППО в сторону их увеличения объективно



вызывают необоснованное фиксирование ресурсной базы и часто чреваты отказом заказчика от разработки, а ошибки в сторону уменьшения (занижения) чреваты срывом проекта, в силу необходимости корректуры указанных параметров уже в процессе разработки. В исследовании [123] С.Макконелл на основании анализа данных по организации более чем сотни проектов создания программных продуктов показал, что административные органы управления, юридические организаторы разработки, которые не являются узкими специалистами в программировании и не чувствуют динамику изменения рассматриваемой неопределенности, в своей практической деятельности по планированию ресурсов стартующего проекта разработки ППО придерживаются риск-ориентированного подхода. На практике разработки ПК управления МКС это означает, что указанные административные менеджмент-органы, принимая за основу данные оценки руководителя программной разработки, в своей практической деятельности значительно более консервативно подходят к оценке обсуждаемых здесь параметров проекта разработки. Именно отсутствие самостоятельного, понятного им, формализованного методического аппарата оценки состояния текущего программного кода разработки, аппарата анализа текущего и прирастающего качества программного продукта, аппарата оперативной оценки текущего риска для продвижения проекта разработки вызывает у менеджеров и административных организаторов еще большую погрешность в резервировании ресурсов на разработку. В работах [122,123] такая погрешность обобщена, применительно к ранее показанному конусу неопределенности С.Макконелла, что для проектов разработки ПК управления МКС в рамках каскадной модели (традиционной технологической системы) показано на рисунке 2.1.3.

Анализ динамики погрешности в резервировании ресурсов на разработку ПК управления МКС при риск-ориентированном подходе в традиционной технологической системе частично позволяет понять причины популярности и доминирования технологической системы разработки SCRUM, с точки зрения

обеспечения пошагового (поэтапного) оценивания качества текущего программного кода создаваемого ППО.

Уровень погрешности в планировании ресурсов на проект  
ПК управления МКС при каскадной технологии разработки

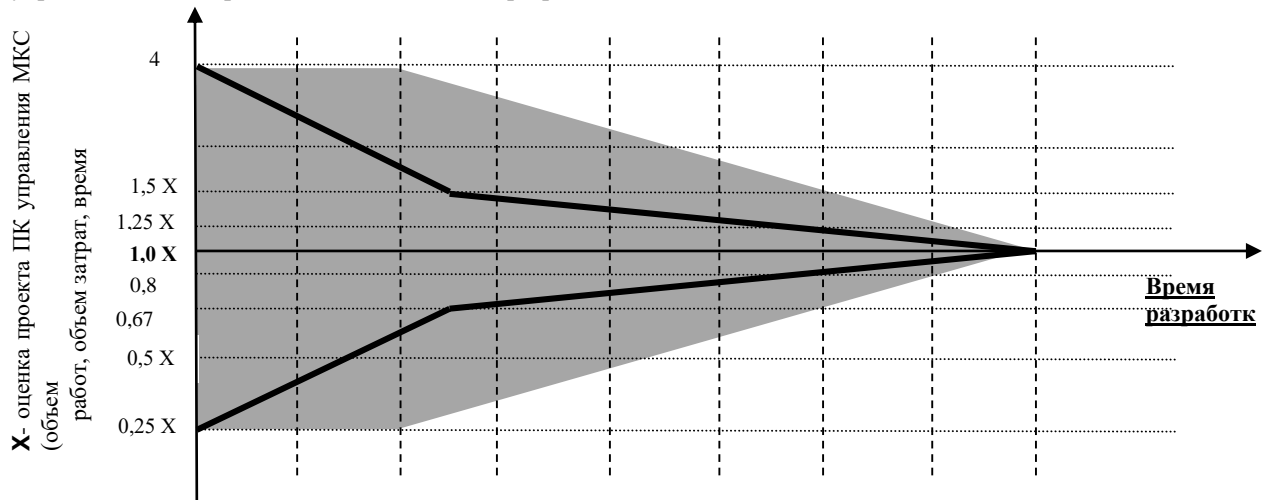


Рисунок 2.1.3. – Погрешность в резервировании ресурсов на разработку ПК управления МКС при риск-ориентированном подходе в традиционной технологической системе

В рамках такой технологической системы роль вышеописанных административных или менеджмент-органов исполняют скрам-мастер и заказчик (Это характерно для канонической организации технологической системы в SCRUM-технологии разработки программного обеспечения). По существу, в рамках технологической системы разработки SCRUM произошел отказ от последовательного поэтапного оценивания качества разрабатываемого программного кода в пользу высочайшей итеративности разработки, при которой на каждой итерации проводится оперативный анализ (быстрый и ориентировочный) сохранения тенденции на прирост качества продукции, принятие в версию итогового продукта разработанного программного кода и возврат в беклог проекта (беклог следующего спринта) тех задач, программная реализация программного кода которых не удовлетворяет принятым в проекте требованиям качества. По сути в рамках технологической системы SCRUM активное совместное вовлечение в процесс разработки ППО скрам-мастера и продукт-оунера, в составе команды разработчиков, в сочетании с высочайшей итеративностью инкрементального планирования самого процесса разработки, в

значительной степени позволяет упростить подпроцесс текущего оценивания качества создаваемого ППО, а в чем-то и подменить его эвристическим, интуитивным пониманием общей тенденции в улучшении данной версии программного продукта. Именно этим объясняется успешность применения SCRUM технологической системы при разработке проектов создания ПК управления МКС и им подобных по сложности и емкости программного кода. Декомпозировав общую задачу синтеза программного продукта на последовательность подзадач, представленных в беклоге, команда разработчиков фактически не занимается классическим квалиметрическим оцениванием получаемых промежуточных результатов, а лишь итеративно убеждается, что в плане качества разработка осуществляется в «правильном направлении». Погруженность в процесс скрам-мастера интуитивно повышает уровень доверия к эвристическим оценкам качества получаемых результатов спринтов и к инкременту (приросту) качества текущей версии создаваемого программного продукта. Очевидно, что как такового метрического анализа интегрального, сводных и частных показателей качества не производится, обоснованный выбор путей улучшения и совершенствования качества также в SCRUM не представлен. Их подменяет высочайшая итеративность процесса разработки в сочетании с глубокой вовлеченностью в процесс разработки помимо программистов-кодировщиков, инженеров-программистов и тандема скрам-мастера с продукт-оунером. В таком варианте организации разработки можно было бы увидеть парадокс для современных представлений квалиметрии в сфере создания технических систем, но это явление имеет рациональное объяснение. Контекстная погруженность скрам-мастера в проект в сочетании с логичностью последовательности и малой гранулярностью задач в беклоге проекта, а также с возможностью вернуть на доработку (переделку) решения задач, признанных недостаточно качественными, на следующем спринте в своей совокупности компенсируют классическое, принятое и считающееся обоснованным, применение квалиметрического аппарата оценивания в рамках рассматриваемой технологической системы SCRUM.

В свою очередь, необходимо констатировать, что общепринятое и считающееся классическим применение квалиметрического аппарата оценивания в рамках такой высоко итеративной организационной схемы разработки ППО, какая принята в технологической системе SCRUM, является труднореализуемым в силу высокой сложности, трудоемкости реализации и вычислительной многоэтапности такого аппарата. Это определяется тем, что практически все современные методы, модели, другие методологические средства и соответствующие им прикладные методики, алгоритмы, способы управления качеством программного обеспечения для сложных программных комплексов и систем ориентированы именно на формирование точного и объемлющего заключения о текущем уровне качества. Это вызывает к жизни использование методологически-сложного и алгебраически-громоздкого математического аппарата (Далее по тексту условно называемого тяжеловесным математическим аппаратом) современной квалиметрии, что объективно блокирует его применимость в рамках методологии гибкой разработки программного обеспечения и ее технологических систем, типа SCRUM.

Эффект, достигнутый в технологической системе SCRUM разработки ППО, от замены традиционно понимаемой системы качества на базе классических квалиметрических методов на введение высочайшей итеративности разработки, при которой на каждой итерации проводится быстрый, но и ориентировочный анализ сохранения тенденции на прирост качества продукции, решение на принятие в версию итогового продукта разработанного программного кода или возврат в беклог тех задач, программная реализация программного кода которых не удовлетворяет принятым в проекте требованиям качества, заключается в сближении неопределенности в оценках параметров проекта разработки ППО между административным менеджером проекта (в данном случае, скрам-мастером) и руководителем содержательной разработки (продукт-оунером). Этот вывод в полной мере относится и к технологическому процессу разработки ПК управления МКС. Графически описываемый эффект для ПК управления

МКС представим в виде рисунка 2.1.4., который получен на основе исследований из [122, 123].

**Уровень погрешности в планировании ресурсов на проект ПК  
управления МКС при SCRUM- технологии разработки**

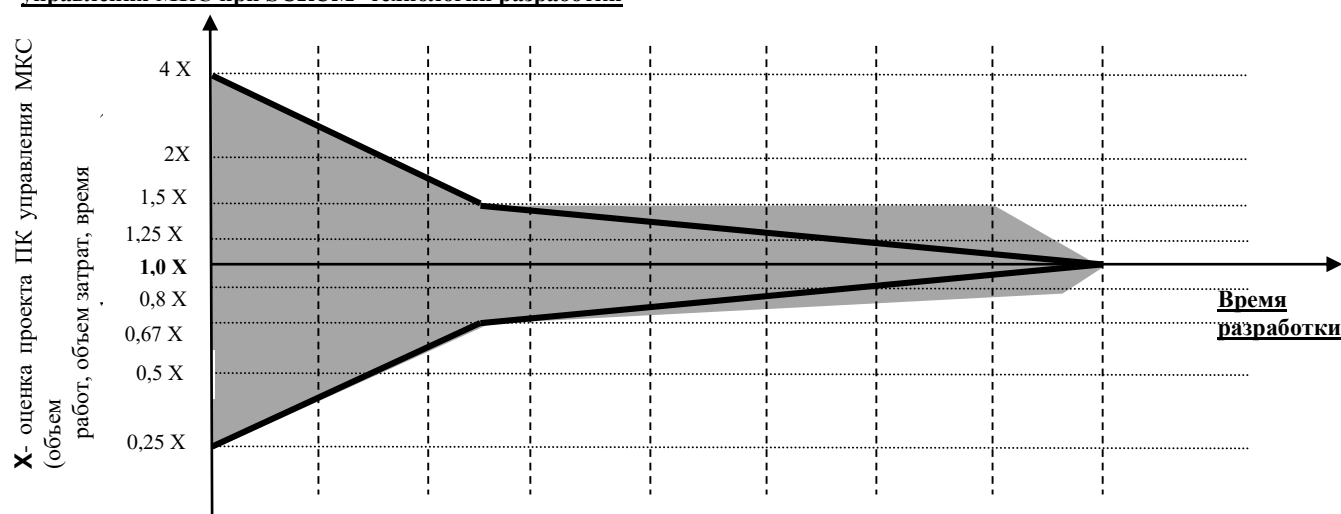


Рисунок 2.1.4. – Погрешность в резервировании ресурсов на разработку ПК управления МКС при риск-ориентированном подходе в технологической системе SCRUM

Из приведенного соотношения на рисунке 2.1.4. видно, что оценки административного менеджмента и руководителя группы программистов-разработчиков погрешности в резервировании ресурсов на разработку ПК управления МКС при риск-ориентированном подходе в технологической системе SCRUM значительно сближаются, по сравнению с аналогичным случаем в традиционной технологической системе с каскадной моделью разработки. Очевидно, что в варианте, показанном на рисунке 2.1.4., резервирование ресурсов будет происходить более гибко и адекватно реальному положению дел в разработке соответствующего ППО для ПК управления МКС: на этапах планирования облика и разработки технического проекта ПК управления МКС совместная работа скрам-мастера и продукт-оунера позволяет добиться практически полного совпадения их оценок текущей и оставшейся трудоемкости проекта, складывающейся его себестоимости и времени реализации; на этапах же практического программирования (программной реализации, кодирования и пр.), при риск-ориентированном подходе, оценки

административного менеджмента более «широки», чем руководителя разработки, но они тем не менее более приближены друг к другу, чем это было показано на рисунке 2.1.3.

Таким образом, замена традиционно понимаемой системы качества на базе классических квалитметрических методов на введение высочайшей итеративности разработки, при которой на каждой итерации проводится быстрый, но и ориентировочный анализ сохранения тенденции на прирост качества продукции, принимается решение на включение в версию итогового продукта разработанного программного кода или возврат в беклог тех задач, программная реализация программного кода которых не удовлетворяет принятым в проекте требованиям качества, составляет главный конструктив технологической системы SCRUM для разработки ПК управления МКС. Этот конструктив обусловлен методологической сложностью и алгебраической тяжеловесностью математического аппарата методов современной квалитметрии программного обеспечения. Квалитметрический анализ текущего состояния разрабатываемого программного кода ПК управления МКС способен обеспечить выработку корректирующих действий (операций) для улучшения качества создаваемых комплексов, при условии полноценной интеграции соответствующего инструментария в технологическую систему разработки ПК управления МКС, в частности, и в систему качества одноименных ПАК, в целом.

Система качества в рамках технологической системы создания ПАК управления МКС должна быть рассмотрена в двух своих производственно-технических составляющих, это:

- разработка архитектуры и формирование (комплектование на базе номенклатуры типовых элементов, блоков, модулей радио- микро – электронной аппаратуры) аппаратной платформы (аппаратное обеспечение);

- формирование ОПО и разработка соответствующих ПК управления МКС, как составных частей ОПО (программное обеспечение).

Очевидно, что организационно и методологически построение системы качества для указанных составляющих будет принципиально различаться и

опираться на различную научную и нормативно-техническую базу современной квалиметрии.

Организация системы качества в рамках технологической системы создания ПАК управления МКС применительно к разработке архитектуры и формированию аппаратного обеспечения (платформы) является на сегодняшний день достаточно хорошо проработанной и отлаженной. Она регламентируется целым рядом государственных и профессиональных стандартов, а в сфере рассматриваемых ПАК также соответствующими документами отраслевого характера. Обобщенно указанный аспект организации системы качества ПАК управления МКС графически показан на рисунке 2.1.5. а).

В свою очередь, организация системы качества в рамках технологической системы создания ПАК управления МКС применительно к разработке ППО для указанных комплексов показана на рисунке 2.1.5. б). В силу определяющего характера ППО в возможностях и качестве ПАК управления МКС следует более подробно рассмотреть специфику формирования и улучшения качества именно этого вида обеспечения, а именно на формировании и улучшении качества ПК управления МКС в рамках технологической SCRUM-системы их разработки. В отличие от аппаратного обеспечения в рамках технологической SCRUM-системы разработки ПК управления МКС подсистема качества не является методологически разработанной и научно-обоснованной. По существу, традиционные подходы к квалиметрии программных комплексов и систем в рамках этой технологической системы полноценно не работают, пути обеспечения полноценных процедур контроля и улучшения качества строятся по междисциплинарному принципу.

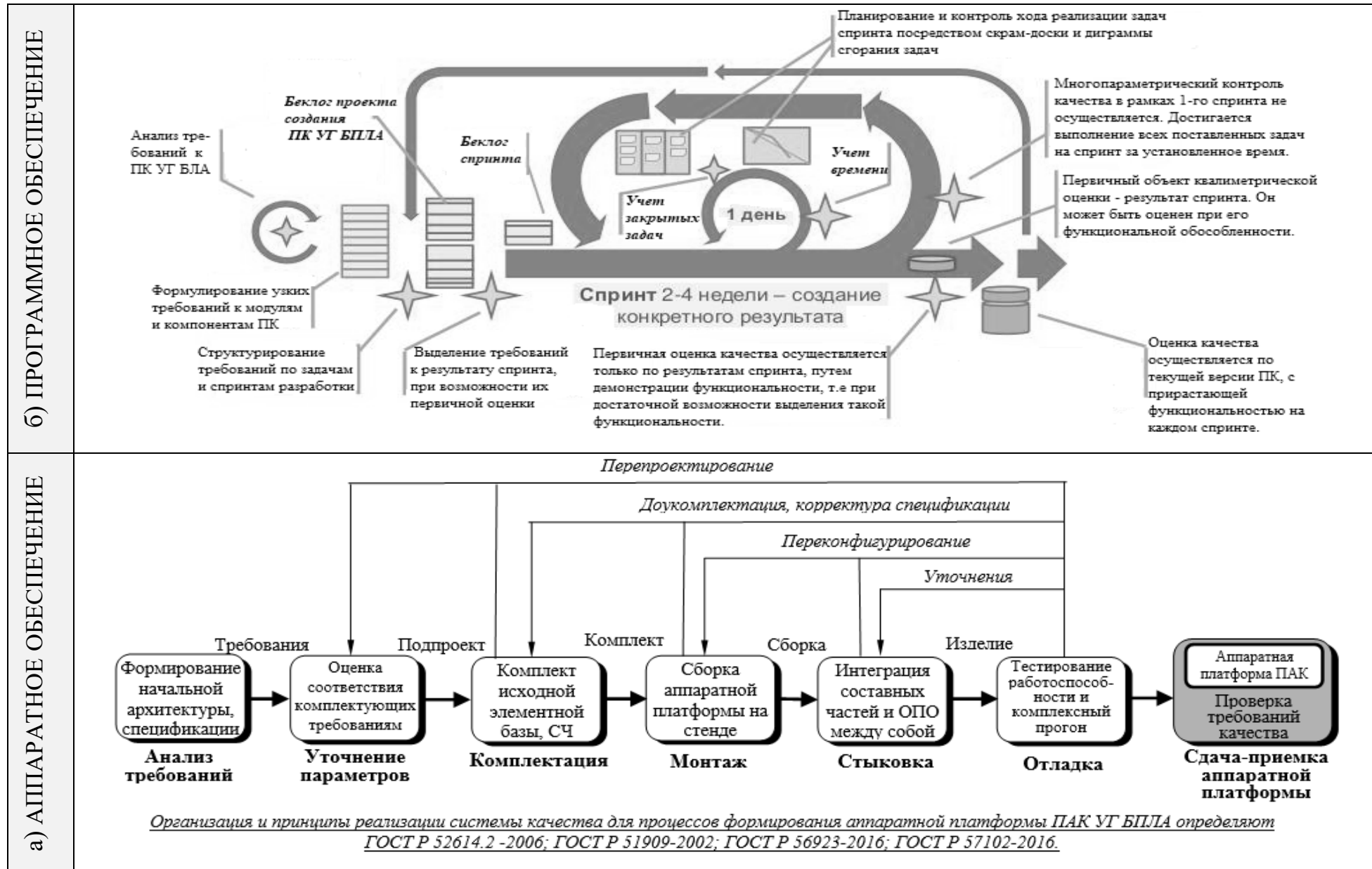


Рисунок 2.1.5.- Организация системы качества в рамках технологической системы создания ПАК управления МКС



Изучение ряда работ по SCRUM [74,91,93,123] и специфики организации технологических систем по SCRUM-технологии на некоторых предприятиях отечественного авиаприборостроения позволило выделить ряд особенностей организации подсистем качества в указанной технологической системе, применяемой для разработки ПК управления МКС. К таковым особенностям следует отнести:

- оценка качества в рамках одного спринта не предусмотрена. По существу, в ходе спринта анализируется только выполнение графика реализации задач, спланированных к исполнению в беклоге спринта. Качество исполнения программного кода и функционала частично и фрагментарно контролируется со стороны продукт-оунера на ежедневных совещаниях команды программистов, но такой контроль сводится к согласованию общих тенденций наращивания качества продукта и не предполагает многокритериального анализа;

- по итогам спринта появляется т.н. результат спринта (инкремент), который может быть подвергнут квалиметрическому анализу, опирающемуся на традиционные методы оценки качества программного обеспечения. Это возможно, если результат спринта обладает самостоятельным функциональным характером и процедура оценки его качества не требует создания имитационной оснастки. (Например, если результатом спринта является самостоятельная библиотека динамически подключаемых прикладных функций). В противном случае, если разработанный результат спринта не является функционально-самостоятельным в ПК управления МКС (Например, карт-сервер или сервер программных объектов), то качество такого результата спринта оценивается в рамках текущей версии всего ПК в ходе анализа прирастающей прикладной функциональности;

- ежедневная оценка качества в рамках одного спринта может дать возможность вырабатывать корректирующие воздействия для разработчиков программного кода ПК управления МКС, но такая оценка должна использовать не тяжеловесные методики классической квалиметрии, а методический инструментарий оперативной оценки тенденции в формировании качества

указанного ПК. В случае определения факта отрицательного или нулевого прироста качества должны устанавливаться только наиболее значимые показатели снижения качества. Иными словами, создание системы качества в рамках одного спринта возможно только при условии соответствия применяемого научно-методического инструментария оценивания основным принципам методологии гибкой разработки программного обеспечения, соответствующей технологической системы SCRUM: итеративность и оперативность (отсутствие громоздкости, тяжеловесности) в применении. В противном случае, научно-методический инструментарий квалиметрического оценивания будет конфликтовать с самой логической сущностью технологической системы SCRUM.

Таким образом, современные возможности по созданию подсистем качества в рамках технологической системы SCRUM при разработке ППО для ПАК управления МКС существенно ограничены. Это ограничение определяется тем, что использование методологически-сложного и алгебраически-громоздкого математического аппарата современной квалиметрии невозможно в рамках работ конкретного спринта. По сути, объект квалиметрического анализа появляется только по результатам спринта, при наличии возможности его оценить по функционированию в текущей версии ПК. Это значительно сужает возможности наиболее раннего выявления аномалий качества создаваемого ПК управления МКС как программного продукта, возможности обоснованного выявления путей скорейшего улучшения указанного качества.

Формулирование выше приведенного вывода обуславливает необходимость обосновать в ходе диссертационного исследования организацию, общую схему и специфику создания подсистемы качества ПК управления МКС в рамках технологической системы SCRUM разработки программного обеспечения, которая учитывала бы все выявленные недостатки современной организации разработки указанного ППО на предприятиях отечественного авиаприборостроения.

### 2.1.2. Создание подсистемы качества ППО в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПК управления МКС

Подсистема качества ППО в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПК управления МКС предполагает охват всех процедур проектирования и разработки программного кода: как в рамках каждого спринта разработки, так и по мере формирования текущей версии создаваемого ПК.

Целью создания системы качества ППО в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПК управления МКС является не только обеспечение условий быстрого выявления факта несоответствия значений текущей версии требуемым (заданным) параметрам, обозначающим потребности потенциального пользователя, но и пошаговое целеполагание мероприятий по исправлению указанного несоответствия. Тогда объективно конструктивом предлагаемой схемы организации подсистем качества ППО в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПК управления МКС является охват приведенным выше целеполаганием не только некоторых результатов спринтов разработки и формирующейся функциональности текущей версии ПК, но и работ и операций выполняемых в рамках (внутри плана) каждого спринта разработки. Иными словами, конструктив предлагаемой концепции контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления разнородными роботизированными авиационными группировками заключается в более детальном охвате в технологической системе SCRUM всех этапов разработки соответствующего ППО, вплоть до отдельных работ и операций внутри технологических итераций разработки, определяемых согласно методологии гибкой разработки программного обеспечения.

Структура и логика функционирования подсистемы качества технологической системы разработки ПК управления МКС, реализующая вышеуказанную методологическую цель разработки, показана на рисунке 2.1.6. Данная структура подсистемы качества для технологической системы SCRUM, реализующей разработку ПК управления МКС, нуждается в ряде принципиальных пояснений.

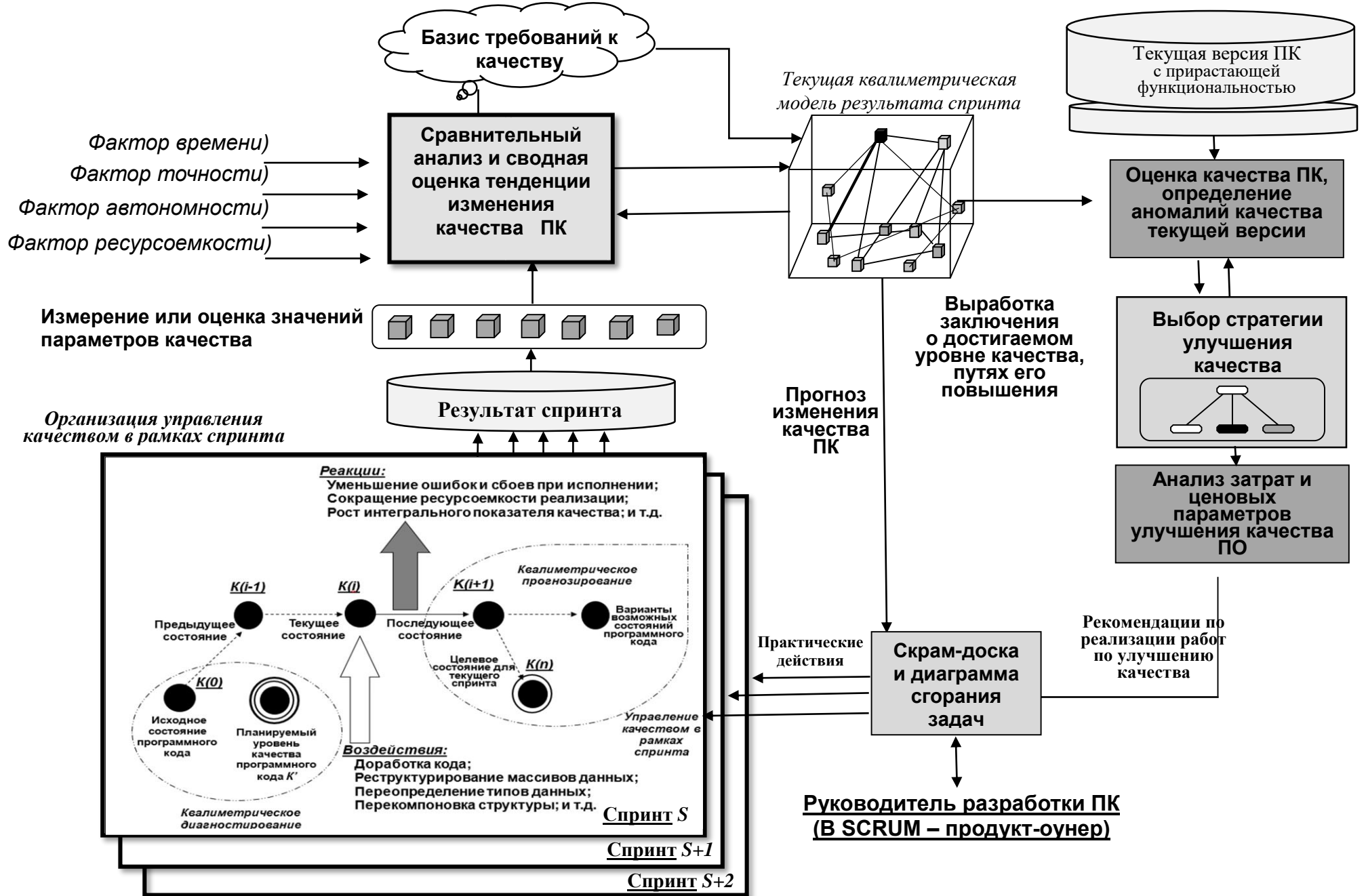


Рисунок 2.1.6.- Структура и логика функционирования подсистемы качества технологической системы разработки ПК

К таковым необходимым пояснениям следует отнести следующие:

- Предлагаемая организация подсистемы, по существу, реализует двухконтурное управление качеством указанных ПК: в рамках каждого спринта и по результирующему приросту качества текущей версии;

- В рамках каждого спринта предполагается возможность оперативного анализа текущего состояния реализуемых пользовательских или технологических функций в виде соответствующих массивов программного кода, что достигается путем последовательных:

1.) квалитетического диагностирования, т.е. соотнесения планируемого уровня качества результата спринта (версии ПК в процессе разработки) с предшествующем спринту уровнем;

2.) выполнения непосредственной разработки текущего ежедневного шага разработки функционального инкремента в виде соответствующего программного кода, с определением текущего квалитетического состояния (оценки качества);

3.) квалитетического прогнозирования, т.е. определение путей и частных целей скорейшего исправления аномалий качества, выявленных при оценке на предыдущем шаге. Этот шаг может осуществляться с учетом планируемых работ следующего ежедневного шага разработки функционального инкремента.

- Результат каждого спринта также является объектом квалитетического оценивания как в автономно-самостоятельном исполнении, так и в составе интегрированной текущей версии ПК. Указанная оценка предполагает первичное измерение или непосредственную оценку путем экспертизы соответствующих показателей качества, определяемых на основании требований технического задания (технических условий) на разработку (В свою очередь, сами требования ТЗ (ТУ) формируются на основании методологического базиса требований к качеству ПК управления МКС) и сравнительный анализ с оценкой тенденции изменения качества инкремента или текущей версии ПК. По существу, выше сказанное означает логический синтез

текущей квалитетрической модели спринта на базе которой становится возможным:

- 1.) Спрогнозировать сводное изменение качества ПК управления МКС после внесения в него функциональности, полученной как результат текущего спринта, а соответственно учесть такой прогноз в планах будущих спринтов, т.е. на скрам-доске и в диаграмме сторания задач;
- 2.) Выработать сводное заключение о достигаемом уровне качества, установить возникающие аномалии качества ПК управления МКС, провоцируемые интеграцией в его состав результатов текущего спринта, определить пути (стратегию) и шаги повышения указанного качества. В конечном итоге, такое заключение, в прагматической плоскости рассмотрения, преобразуется в рекомендации по реализации дальнейших работ по улучшению качества разрабатываемого ПК управления МКС.

- Целенаправленный характер формирования качества функциональных элементов ПК управления МКС позволяет добиться скорейшего достижения требуемых параметров по системообразующим показателям, а следовательно, в конечном итоге, добиться повышения результативности технологической системы гибкой разработки программных комплексов для ПАК управления МКС. Это говорит о том, что полноценная и детализированное представление предлагаемой концептуальной схемы указанной системы качества есть методологически целостный аппарат оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания ПК для ПАК пространственного управления группировкой МКС, обеспечивающий улучшение этого качества путем совершенствования квалитетрических аспектов методологии гибкой разработки программного обеспечения.

Методологическое значение внедрения предлагаемой схемы подсистемы качества в технологическую систему SCRUM разработки ПК управления МКС, в частности, и реализации концепции контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления разнородными роботизированными авиационными группировками, в целом, для улучшения

качества указанных ПК можно продемонстрировать путем построения соответствующих фазовых диаграмм прироста качества программной разработки.

Фазовая диаграмма прироста качества программной разработки представляет собой кривую в координированном пространстве фаз, фиксирующую множество точек на конце условного вектора длина которого соответствует приведенному значению интегрального показателя качества, а угол поворота пропорционален номеру шага в процессе улучшения качества ППО (шага разработки и оценки программного кода). Существо формирования фазовой диаграммы прироста качества программной разработки показано на рисунке 2.1.7.

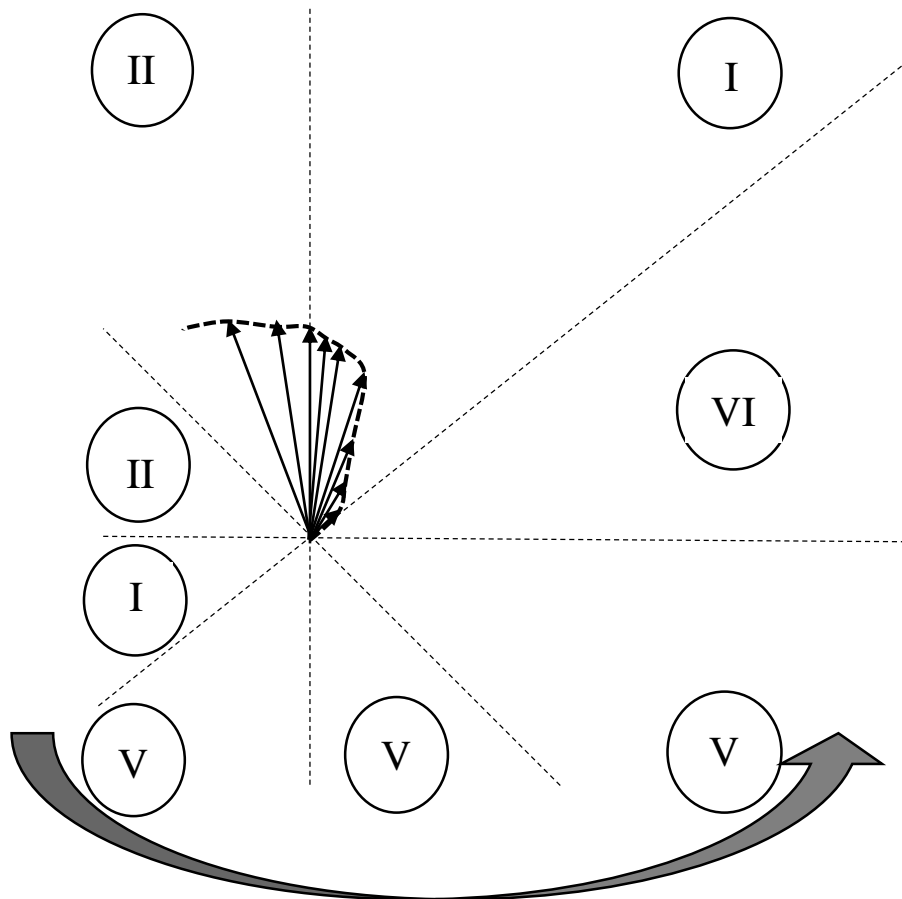


Рисунок 2.1.7. – Существо формирования фазовой диаграммы прироста качества программной разработки

Так, в частности, фазовое пространство может быть координировано соответствующими фазами-углами, ассоциированными с этапами формирования или улучшения качества. Последовательность таких этапов формирования

качества определяет направление наращивания угла поворота вектора, длина которого соответствует текущему значению интегрального показателя качества последовательно оцениваемого фрагмента программного обеспечения.

Представленный способ формирования фазовой диаграммы прироста качества программной разработки можно интерпретировать применительно к синтезу фазовой диаграммы прироста качества ПК управления МКС при привязке фаз к логическим этапам работ спринта в SCRUM. Так, в частности, в качестве фаз следует избрать основные этапы реализации спринта, согласно [74]:

- 1) Планирование работ спринта, частных целей и задач, которые должны быть достигнуты (решены) в результате спринта;
- 2) Проектирование основных архитектурно-программных решений;
- 3) Создание прототипа, т.е. программного кода спланированного решения, который принято называть результатом спринта или инкрементом;
- 4) Проведение «мозгового штурма» возникших технологических или технических сложностей, вопросов, требующих разрешения;
- 5) Тестирование и комплексная отладка функционирования инкремента;
- 6) Внесение корректур и исправление ошибок, выявленных в ходе мозгового штурма или тестирования;
- 7) Интеграция результата спринта (инкремента) в состав текущей версии ПК с прирастающей функциональностью;
- 8) Приемка-сдача промежуточного результата с демонстрацией сводной функциональности заказчику (продукт-оунеру).

Начальная фаза может быть определена на диаграмме прироста качества ПК управления МКС в технологической системе SCRUM произвольно. Например, как это определено в соответствии с порядком следования на рисунке 2.1.7. Сама кривая прироста качества представляет собой огибающую значений выше указанного вектора значений интегрального показателя качества ПК управления МКС в радиальной системе координат, в рамках которой угол поворота вектора пропорционален числу ежедневных итераций разработки.



Очевидно, что фазовая диаграмма идеального прироста качества ПК управления МКС в технологической системе SCRUM должна принять форму неравномерно прирастающей спирали. Неравномерность прироста объясняется различной эффективностью тех или иных работ по совершенствованию ПК управления МКС. Следовательно, возможны ситуации и отрицательного прироста качества на различных итерациях разработки и тогда форма огибающей будет принимать уже не спиралевидную форму, а более казуальную.

Таким образом, на основе фазовой диаграммы прироста качества ПК управления МКС при привязке фаз к логическим этапам работ спринта в SCRUM не трудно показать, что задачей наличия подсистемы качества в составе указанной технологической системы является обеспечение целенаправленного и устойчивого прироста качества разрабатываемого ППО от спринта к спринту. В случае полноценной реализации подсистемы качества в технологической системе SCRUM при разработке ПК управления МКС фазовая диаграмма идеального прироста качества указанных ПК примет вид, показанный на рисунке 2.1.8.

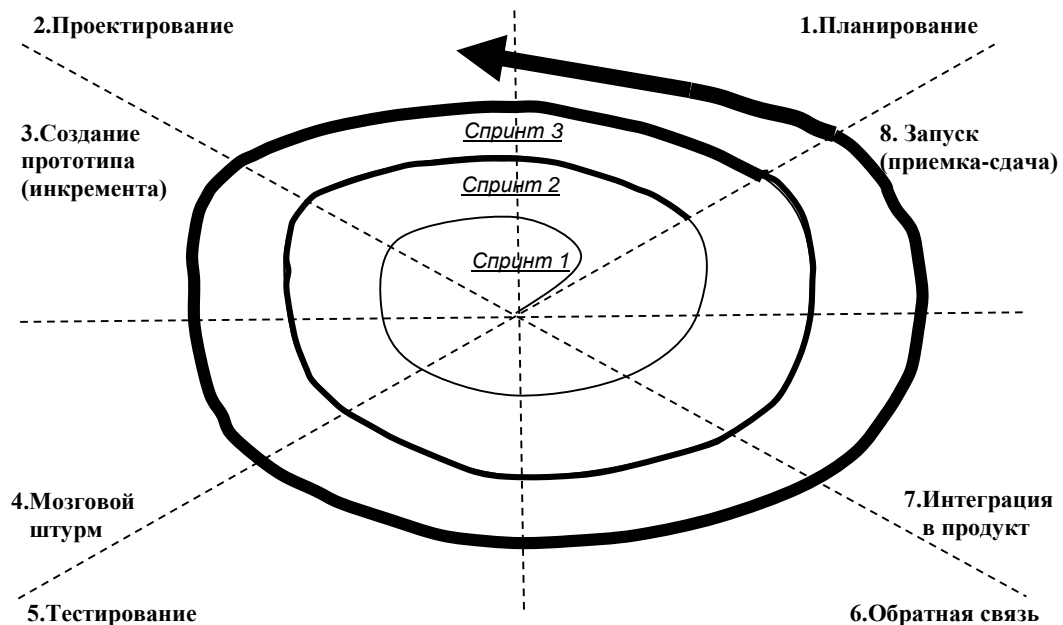


Рисунок 2.1.8. – Вид фазовой диаграммы идеального прироста качества ПК управления МКС при привязке фаз к логическим этапам работ спринта в SCRUM

Отсутствие указанной подсистемы в технологической системе SCRUM при разработке ПК управления МКС чревато невозможностью обеспечения последовательного и целенаправленного прироста качества разрабатываемых ПК, что проявится в искажении формы огибающей в диаграмме, отклонением её от спиралевидной формы. Мало того, сохранение спиралевидной формы, огибающей в фазовой диаграмме прироста качества ПК управления МКС при привязке фаз к логическим этапам работ спринта в SCRUM, т.е. обеспечение последовательного и целенаправленного прироста указанного качества, является необходимым условием, определяющим нужность и эффективность предлагаемой структуры подсистемы качества в исследуемой технологической системе, но не исчерпывающим. Исчерпывающим условием, определяющим целевое предназначение предлагаемой подсистемы качества, является не просто обеспечение последовательного и целенаправленного прироста качества ПК управления МКС от спринта к спринту, но и достижение наилучших значений качества за минимальное число итераций разработки, за меньшее число спринтов. Переводя на язык фазовой диаграммы прироста качества ПК управления МКС: целью создания подсистемы качества в технологической системе SCRUM при разработке ПК управления МКС является не просто обеспечение спиралевидной формы огибающей, но и минимизация числа витков такой спирали, что, в свою очередь, обозначает максимизацию шага спирали на каждом из спринтов реализации.

Приведенный выше тезис концептуально определяет постановку соответствующей оптимизационной задачи, которая формально описывает математическое существо рациональности структуры искомой подсистемы качества в составе технологической системы SCRUM при разработке ПК управления МКС. Такая постановка оптимизационной задачи сводится к следующему:

1.) Допустимые множества варьируемых параметров определены следующим образом:

- объем потребных оплаченных ресурсов  $r_i$  (т.е. трудоемкость программистов-разработчиков, объемов машинного времени и хранения данных и пр.) для реализации  $i$ -ой прикладной функции определен на множестве:

$$r_i \in R, \quad (2.1.1)$$

$$R = \{0; R^+\}, \quad (2.1.2)$$

где  $R^+$  - общий объем ресурсов, выделенных на реализацию проекта разработки ПАК управления МКС;

- объем времени разработки  $t_i$  для реализации  $i$ -ой прикладной функции определен на множестве:

$$t_i \in T, \quad (2.1.3)$$

$$T = \{0; T^+\}, \quad (2.1.4)$$

где  $T^+$  - весь промежуток времени, спланированный на реализацию проекта разработки ПАК управления МКС;

- степень точности  $d_i$  оценки значения интегрального показателя качества ППО по реализации  $i$ -ой прикладной функции определена на множестве:

$$d_i \in D, \quad (2.1.5)$$

$$D = \{10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 1, 10\}. \quad (2.1.6)$$

2.) Целевая функция определяется биективным отображением выше определенной триады варьируемых параметров разработки ППО для ПАК управления МКС на множество значений

$$H = \{h_j\}_i \quad (2.1.7)$$

где  $h_{ij}$  – прирост качества реализации  $i$ -ой прикладной функции на  $j$ -ом спринте.

То есть,

$$f: (r_i, t_i, d_i) \rightarrow \{h_j\}_i, \quad (2.1.8)$$

что соответственно может быть представлено в виде следующего вида целевой функции

$$h_{ij} = f(r_i, t_i, d_i)_j \quad (2.1.9)$$

3.) Решение оптимизационной задачи предполагает:

$$f(r_i, t_i, d_i)_j \Rightarrow \max_{\substack{r_i \in R \\ t_i \in T \\ d_i \in D}} f_j \quad (2.1.10)$$

но получение решения возможно путем наложения ограничений на ряд параметров и максимизации целевой функции по одному выбранному параметру. Это на практике означает следующие варианты решений максимизации целевой функции прироста качества реализации  $i$ -ой прикладной функции на  $j$ -ом спринте за счет:

- фиксации точностных и временных параметров и варьирования ресурсных параметров:

$$f(r_i, t_i, d_i)_j \Rightarrow \max_{r_i \in R} f_j \quad (2.1.11)$$

$$\left. \begin{array}{l} t_i = const; \\ d_i = const. \end{array} \right\} \quad (2.1.12)$$

- фиксации ресурсных и точностных параметров и варьирования временных параметров:

$$f(r_i, t_i, d_i)_j \Rightarrow \max_{t_i \in T} f_j \quad (2.1.13)$$

$$\left. \begin{array}{l} r_i = const; \\ d_i = const. \end{array} \right\} \quad (2.1.14)$$

- фиксации ресурсных и временных параметров и варьирования точностных параметров:

$$f(r_i, t_i, d_i)_j \Rightarrow \max_{d_i \in D} f_j \quad (2.1.15)$$

$$\left. \begin{array}{l} r_i = const; \\ t_i = const. \end{array} \right\} \quad (2.1.16)$$

Постановка оптимизационной задачи (2.1.1) – (2.1.16) позволяет понять, что по существу прирост качества реализации  $i$ -ой прикладной функции на  $j$ -ом спринте на фазовой диаграмме идеального прироста качества ПК управления МКС при привязке фаз к логическим этапам работ спринта в SCRUM, фактически графически представляется площадью в соответствующих фазах между спиральными витками, относящимися к различным спринтам. Такое представление, по существу, задает визуальную модель динамики прироста

качества ПК управления МКС с нарастающим итогом по мере реализации спринтов разработки. Пример такой модели показан на рисунке 2.1.9. Приведенная визуальная модель хорошо согласуется с концепцией спиральной разработки ПО, которая покрывает собой технологическую систему SCRUM и детально описана в [94].

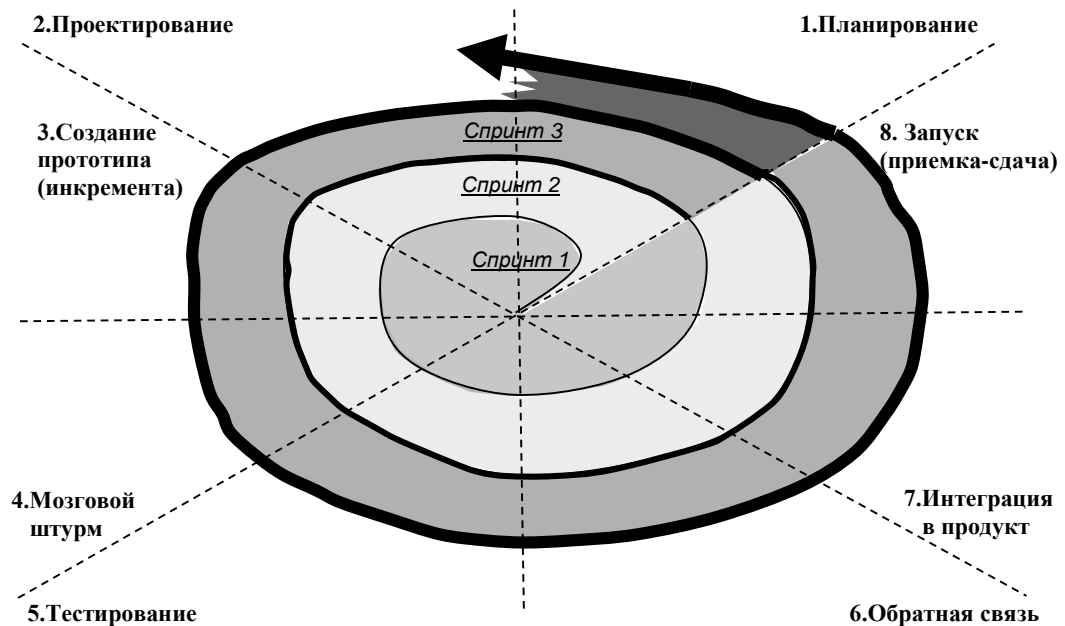


Рисунок 2.1.9. – Модель динамики прироста качества ПК управления МКС с нарастающим итогом по мере реализации спринтов разработки

Представленная визуализирующая модель динамики прироста качества ПК управления МКС с нарастающим итогом по мере реализации спринтов разработки не позволяет задать единую меру для описания огибающей в виде алгебраической функции, но позволяет теоретически показать существо оптимизации (рационализации) процесса разработки ППО в рамках технологической системы SCRUM при реализации в ней полноценной и всеохватывающей подсистемы качества. Именно этот факт позволяет рассматривать предлагаемые схему, структуру и логику функционирования системы качества технологической системы разработки ПК управления МКС, как методологическую квинтэссенцию концепции контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления разнородными

роботизированными авиационными группировками для практической сферы деятельности.

Таким образом, предложенные структура и логика функционирования подсистемы качества технологической системы разработки ПК управления МКС позволяет добиться охвата процедурами управления качеством ПО не только функционально-самостоятельных результатов, но и работ в составе спринтов разработки, выполняемых в технологической системе SCRUM. Проведенный анализ теоретических аспектов организации квалитетического контроля в рамках технологической системы создания ПК управления МКС показал, что детализированная и научно-обоснованная реализация выше указанных структуры и организации подсистемы качества в технологической системе SCRUM обеспечивает более полное (полноценное) и эффективное применение методологии гибкой разработки программного обеспечения Agil для указанных комплексов.

Обоснованная детализация предлагаемой системы качества, как структурных единиц обосновываемой научной концепции контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления разнородными роботизированными авиационными группировками, дает возможность установить полный состав результатов текущего исследования, выносимых в рамках диссертации на защиту. Научная концепция контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления разнородными роботизированными авиационными группировками выступает в качестве методологического и системообразующего фундамента для всех оставшихся положений данного диссертационного исследования, подлежащих публичной защите.

### 2.1.3. Методологический характер концепции контроля и улучшения качества ПАК управления системами разнородных авиароботов

Концепция контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления системами авиароботов (роботизированными

авиационными группировками) есть научно-мировозренческая основа для проведения последующих исследовательских работ в логике данной диссертации. Базисное значение в её структуре подсистемы качества для технологической системы разработки ПАК управления МКС предусматривает, что последующие результаты диссертационной работы будут детализировать и специфицировать установленные компоненты такой подсистемы качества. Естественно, что указанная детализация и спецификация подразумевается также на научном уровне обобщения и в теоретической форме представления.

Главным смысловым признаком выделения самостоятельных методов и средств улучшения качества комплексов МКС является выявление логико-обусловленных отношений между системообразующими компонентами обоснованной системы качества, как подсистемы технологической системы разработки ПАК управления МКС, обеспечивающей повышение результативности разработки ППО для ПАК управления МКС.

Выделение на базе ранее представленного смыслового признака множества логико-обусловленных отношений между системообразующими компонентами обоснованной в пп. 2.1.2. системы качества позволяет проследить закономерность обособления соответствующих научных результатов, как составных частей единого инструментария управления качеством ПАК управления МКС, в частности, и контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления разнородными роботизированными авиационными группировками, в целом. Наглядно логическая обусловленность указанного обособления научных результатов данного диссертационного исследования показана в табл. 2.1.1. При этом, вся совокупность предлагаемых методов и средств, в целом, представляет собой методологически целостный аппарат оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания ПК для ПАК пространственного управления МКС, обеспечивающий улучшение этого качества путем совершенствования квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки программного обеспечения.

Таблица 2.1.1. – Логическое соответствие между компонентами предлагаемой системы качества разработки ПАК управления МКС и научными результатами диссертационного исследования

№ п/п	Критические компоненты (процедуры) подсистемы качества технологической системы разработки ПАК управления МКС, согласно предлагаемой структурной схеме	Совокупные реализуемые возможности в процессе разработки ПАК управления МКС	Составляющие результативности технологической системы гибкой разработки ПАК управления МКС [64], на которые оказывается влияние	Репрезентация составляющих результативности технологической системы гибкой разработки ПАК управления МКС, в контексте ГОСТ ИСО 9000-2015; ГОСТ ИСО 9001-2015	Методологические средства детализирующие концепцию контроля и улучшения качества ПАК управления разнородными роботизированными авиационными группировками
1.	Базисная совокупность (базис) требований к качеству ПАК управления МКС	Формирование исходного базового множества вариантов требований для дальнейшей конкретизации в проектах ПАК управления МКС	Действенность	Общий объем требований; Масштабируемость предъявляемых требований; Практическая реализуемость; Однозначность в понимании об удовлетворении требований; и пр.	Методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС (Н.р. №2)
2.	Оценка качества ПК, определение аномалий качества текущей версии	Оперативное выявление тенденции в изменениях качества от спринта к спринту; Выявление аномалий качества и установление итога заключения по качеству ППО.	Прибыльность	Обеспеченность прироста по показателям; Параметризация; Количественная эффективность; Связность параметров, и пр.	Метод рекурсивной оценки качества ПК управления МКС (Н.р. №3)
3.	Текущая квалиметрическая модель результатов спринта	Быстрая классификация вида выявленной аномалии качества ППО	Производительность	Затратность сводная и по показателям; Прирост на одну функциональную единицу, и пр.	Комплекс моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС (Н.р. №4)



4.	Выбор стратегии улучшения качества	Поиск процедур и линии ведения процесса разработки ПО, обеспечивающих скорейший прирост качества по интегральному и ряду сводных показателей качества ПК управления МКС	Нововведения, прибыльность	Показатели пользовательской востребованности; Безошибочность и безотказность функционирования; Модульность; Способность к модернизации (модификации); Связность параметров и пр.	Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС (Н.р. №5)
5.	Анализ затрат и ценовых параметров улучшения качества разрабатываемого программного обеспечения	Выдерживание параметров бюджета и назначенных параметров времени разработки проекта ПК управления МКС	Экономичность	Объем потребных ресурсов и времени для разработки; Необходимое число итераций для обеспечения заданного уровня качества, и пр.	Метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС (Н.р. №6)
6.	Рекомендации по реализации конкретных работ по улучшению качества разрабатываемого ПО и аппаратной платформы	Выработка практических указаний для группы разработчиков по корректуре параметров качества создаваемого ПАК управления МКС	Условия трудовой деятельности, нововведения	Интуитивный характер интерфейса; Эргономичность; Сервис-ориентированный характер; Структурная сбалансированность, и пр.	Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС (Н.р. №7)

Логическое соответствие между компонентами предлагаемой системы качества разработки ПАК управления МКС, показанными на рисунке 2.1.6. и научными результатами, выносимыми на защиту, фактически предопределило всю организацию, структуру и ход дальнейшего диссертационного исследования, а также совокупности применяемых методов оценки качества микро- радиоэлектронных средств, комплексов, систем и методологических школ современной квалиметрии программного обеспечения. Именно это позволило в дальнейшем увидеть конструктив рациональности от практического применения всей совокупности разработанных методологических средств, как единого квалиметрического инструментария контроля и улучшения качества ПАК управления роботизированными авиационными группировками.

Методологический характер концепции контроля и улучшения качества ПАК управления системами авиароботов (роботизированными авиационными группировками) заключается именно в концептуально-методическом обобщении всех дальнейших научных результатов в рамках научной основы для инструментария инженеров-системотехников, специалистов по контролю качества при создании указанных программных комплексов и соответствующих приборных систем, для применения квалиметрических средств и методик в интересах более полноценного применения гибкой методологии разработки прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС.

Частные цели систематизации и логического структурирования всего пула требований к качеству ПАК управления МКС в условиях данного диссертационного исследования объективно потребовало разработки некоторого базового фундамента – избыточного, но не конкретизированного множества указанных требований. При этом предполагается, что на базе такого множества пользователю (инженеру-программисту, инженеру-системотехнику) будет значительно проще формулировать требования по качеству ПАК управления МКС для технических заданий на разработку (технических условий на организацию производства), путем их конкретизации из обобщенных требований.

## 2.2. Методологический базис квалиметрических требований к программно-аппаратным комплексам управления мультикомпонентными системами

### 2.2.1. Принципы формирования методологического базиса требований к качеству ПАК управления МКС

Методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС есть расширенное (избыточное, изначальное) упорядоченное множество требований по качеству создания указанных программно-аппаратных комплексов, которое представляет собой канонический свод обобщенных требований, путем конкретизации и уточнения которого может системно формироваться сбалансированное техническое задание на разработку опытного образца (технические условия на производство серийных образцов) этого ПАК. Методологический характер указанного базиса требований определяется высокой степенью общности и широтой охвата совокупности потребительских требований и, соответственно, показателей качества, как производных от степени удовлетворения потребностей в автоматизированных средствах управления разнородными роботизированными авиационными группировками.

Объективным источником для определения состава и структуры расширенного и упорядоченного множества требований по качеству создания указанных программно-аппаратных комплексов выступают наиболее продвинутые международные системы профессиональных стандартов в области создания средств и систем автоматизации, профессионального программирования и софтверной индустрии. К таковым относятся системы стандартов:

- IEEE, Института инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronic Engineers);

- EIA, Ассоциации электронной промышленности (Electronic Industry Association);

- IEC, Международной комиссии по электротехнике (International Electrotechnical Commission);

а также ряда авторитетных национальных организаций, специализирующихся на вопросах стандартизации и управления качеством программных и программно-аппаратных систем, изделий, комплексов. Это прежде всего системы стандартов:

- SEI, Института программной инженерии (Software Engineering Institute);

- ECMA, Европейской ассоциации производителей компьютерного оборудования (European Computer Manufacturers Association);

- ANSI, Американского национального института стандартов (American National Standards Institute).

Системным связующим звеном вопросов квалиметрии программного и аппаратного обеспечения с процессным подходом в организации производства, технологических схем и пр. выступили стандарты такой общепризнанной международной системы:

- ISO, Международной организации по стандартизации (International Standards Organization);

и отечественной серии стандартов в области систем менеджмента качества (систем качества) ГОСТы серии 9000, обновленные в 2015, аналогичных соответствующим стандартам из ISO.

Соответственно, в основу формирования методологического базиса требований к качеству ПАК управления МКС легли обобщенные и предметно-систематизированные требования международного профессионального стандарта ISO/IEC 15504 (SPICE) и отечественных ГОСТ Р ИСО 9000 – 2015 (аналогичен ISO 9000-2015) [13], ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015 (аналогичен ISO 9001-2015) [14], ГОСТ Р ИСО 25010 – 2015 (аналогичен ISO 25010-2015) [20], ГОСТ Р ИСО 27000 – 2015 (аналогичен ISO 27000-2015) [21]. В фундамент идеологии управления качеством ПО и соответствующих ПАК (Аппаратная платформа в данном случае рассматривается как соответствующий вид

обеспечения вычислительного процесса) положена идея не непосредственной оценки и корректуры качества создаваемых программных и программно-аппаратных изделий, а совершенствования менеджмента самого процесса такого создания. Чем рациональней в компании построен процесс формирования качества ПО (ПАК), тем вероятней будет выше качество создаваемых программно-аппаратных изделий. Сегодня такая идеология распространена на многие наукоемкие сферы производства и известна под названием “процессный подход”. Процессный подход отражает факт высокой сложности создаваемого продукта, в силу чего невозможно установить прямую линейную связь между дорогостоящими процедурами контроля, улучшения качества и ростом этого качества. Именно высочайшая сложность и абстрактность технологических процессов разработки ПО послужили причиной того, что системы менеджмента качества и сама идея процессного подхода появились с софтверной индустрии (80-е годы XXв.), а потом получили более широкое распространение в наукоемких отраслях промышленности.

В ходе диссертационного исследования для выработки принципов формирования методологического базиса требований к качеству ПАК управления МКС прежде всего был проанализирован международный профессиональный стандарт ISO/IEC 15504 (SPICE) - «Информационная технология. Оценка процессов разработчика программного обеспечения» (Software Process Improvement and Capability). Данный стандарт в своем представлении об уровне организации разработки ПО и соответствующих ПАК реализует модель обобщенного представления об уровне возможностей той или иной компании разрабатывать программное обеспечение и соответствующие программно-аппаратные комплексы – CMMI (Capability Maturity Model Integration). Указанная модель была первоначально предложена и стандартизирована в SEI, т.е. американским институтом программной инженерии в конце 80-х годов XXв как модель CMM, но в конце 90-х данная модель была универсализирована и приобрела более полный содержательный

облик СММІ (Последняя версия стандарта указанной модели вышла в ноябре 2010г.) [129].

Содержательную сущность СММІ применительно к вопросам разработки ППО и соответствующих ПАК для рассматриваемых прикладных задач можно свести к схеме, показанной на рисунке 2.2.1. На этой схеме приведены уровни зрелости в СММІ применительно к компаниям разработчикам ПО (ПАК) и «контрастные», детализирующие их признаки классификации соответствующих уровней.

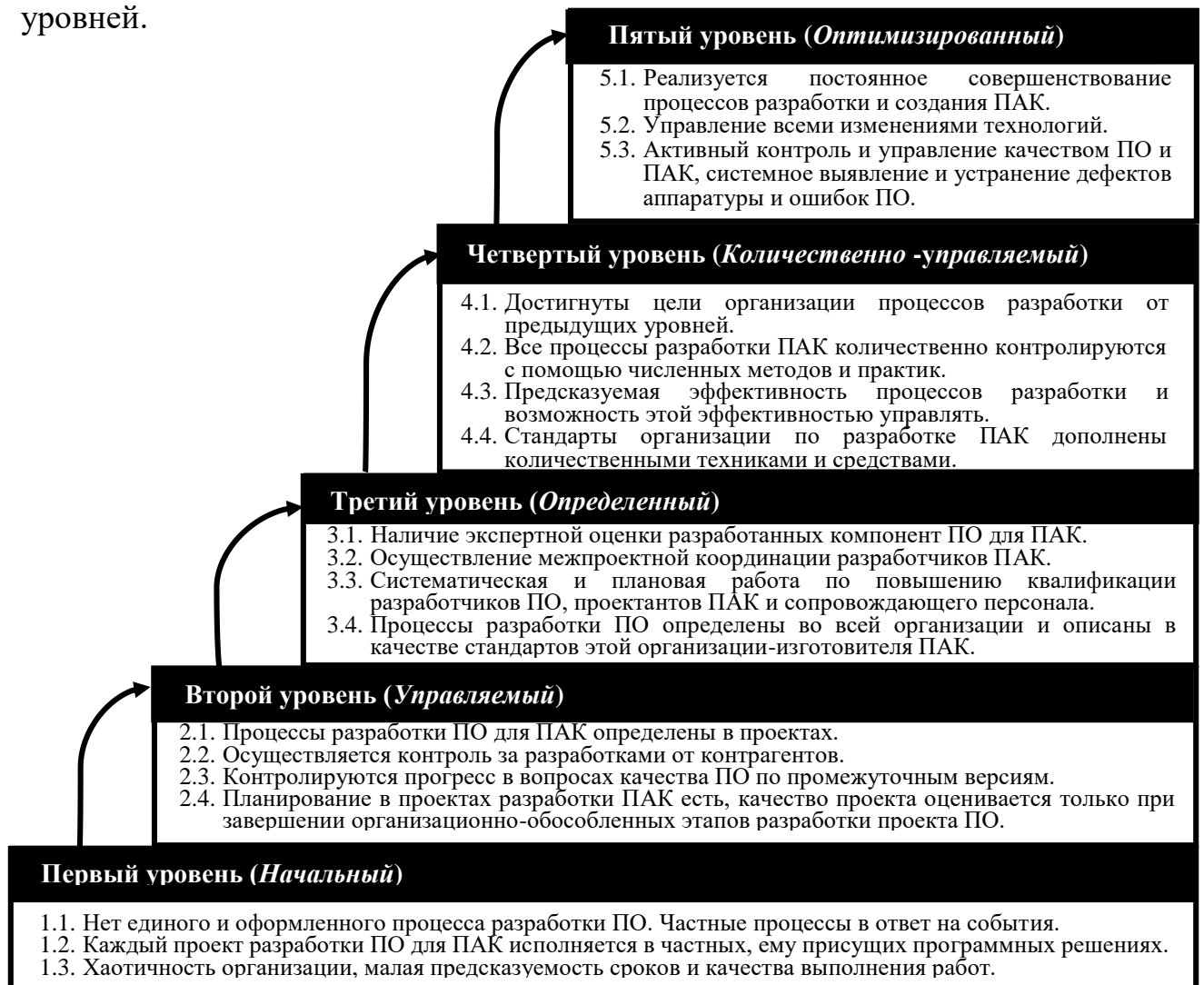


Рисунок 2.2.1. – Содержание и взаимосвязь уровней зрелости разработчиков ПАК со специализированным ПО в Capability Maturity Model Integration (CMMI)

На основании анализа СММІ стало возможным интерпретировать требования международного профессионального стандарта ISO/IEC 15504 (SPICE) применительно к современным условиям создания комплексов ППО для

специализированных аппаратных платформ, т.е. ПАК. Такая интерпретация позволила представить совершенствование технологического процесса (технологической системы) разработки указанных комплексов как соответствующую динамику качественного роста организации процесса разработки ПО (ПАК), что показано на рисунке 2.2.2.

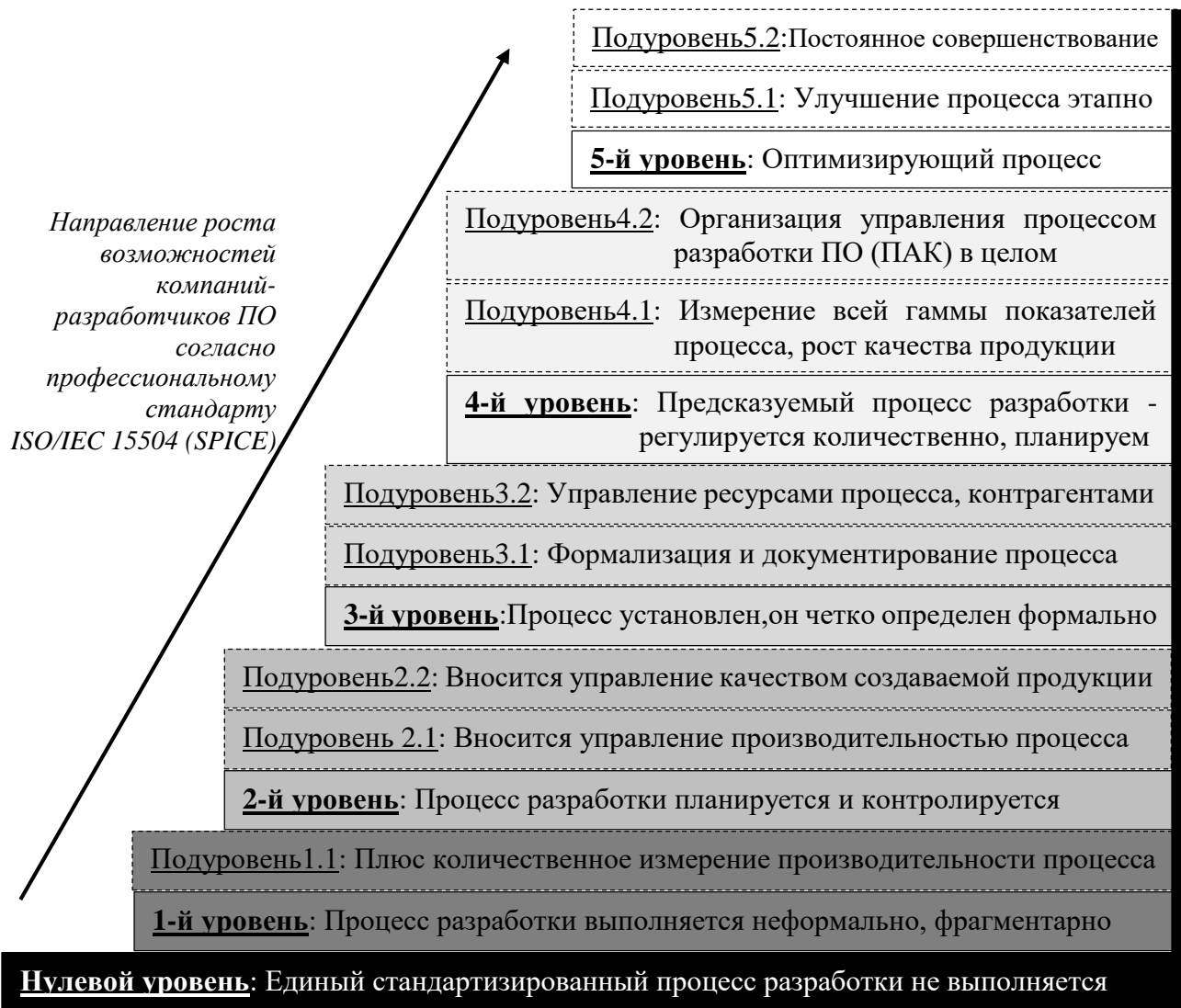


Рисунок 2.2.2. – Динамика совершенствования процесса разработки ПО (ПАК) в соответствии со стандартом ISO/IEC 15504 –“Software Process Improvement and Capability dEtermination” (SPICE)

Однако, помимо стандарта ISO/IEC 15504 (SPICE) в среде профессиональных разработчиков ППО при развертывании и отладке систем менеджмента качества нашли широкое применение международно-признанные стандарты серии ISO 9000 [13,14]. Они также позволяют рассматривать их как

логический фундамент для формирования методологического базиса требований к качеству ПАК управления МКС. Проведенное сравнение стандарта ISO/IEC 15504 (SPICE) со стандартами серии ISO 9000, прежде всего с [13,14,20,21], показало, что указанные системы стандартов дополняют друг друга. Методологическое различие между ними заключается в том, что ISO/IEC 15504 (SPICE) направлен на оценку процессов именно разработки ПО (создания ПАК), он определяет жесткие правила такого оценивания, в то время как система стандартов ISO 9000 (ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015 и пр.) более универсальна, а следовательно более абстрактна. Эта разница на практике выражается в том, что согласно стандарту ISO/IEC 15504 (SPICE) оценка процессов разработки реализуется посредством однозначной аттестации (сертификации), в то время как стандарты ISO 9000 ориентированы на реализацию указанной оценки посредством мероприятий более мягкой формы – аудита. Есть и еще ряд специфических отличий в применимости ISO/IEC 15504 (SPICE) и ISO 9000. В ходе диссертационного исследования был проведен сравнительный анализ свойств применимости стандартов ISO/IEC 15504(SPICE) и ISO 9001-2015 в предметной области создания ППО и ПАК на специализированной аппаратной платформе, его результаты в сжатой форме представлены в таблице 2.2.1. Эти результаты наглядно показывают, что указанные стандарты по организации систем качества действительно дополняют друг друга: если ISO 9000 является более системным и универсальным документом, может являться концептуально-постановочным документом для применения стандарта ISO/IEC 15504 (SPICE), то в свою очередь, последний детализирует и конкретизирует ISO 9000 для предметной области разработки современных программных систем и программно-аппаратных комплексов специального назначения.

Именно в силу указанной взаимодополняемости стандарта ISO/IEC 15504 (SPICE) [130] и стандартов системы менеджмента качества ГОСТ Р ИСО 9000 – 2015 (аналогичен ISO 9000-2015) [13], ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015 (аналогичен ISO 9001-2015) [14], ГОСТ Р ИСО 25010 – 2015 (аналогичен ISO 25010-2015) [20], ГОСТ Р ИСО 27000 – 2015 (аналогичен ISO 27000-2015) [21] они и были приняты



за принципиальную основу для формирования методологического базиса требований к качеству ПАК управления МКС.

Таблица 2.2.1. – Сравнительный анализ свойств применимости стандартов ISO/IEC 15504(SPICE) и ISO 9001-2015 в предметной области создания ППО

№ п/п	Базовые категории в описании процесса разработки -сравнительные характеристики стандартов	ISO/IEC 15504(SPICE)	ISO 9001-2015
1.	Описательный состав стандарта	Перечень требований для оценки процесса разработки и руководство по его использованию	Описание и детализация модели требований
2.	Характеристика детализации	Объемное и подробное изложение в форме стандарта	Краткий описательный стандарт
3.	Предусматриваемые формы проведения оценивания	Аттестация	Аудит
4.	Предусматриваемые результирующие формы применения	6 вариантов уровней реализации процесса разработки, т.е. обеспечиваемых возможностей	Либо положительное заключение по результатам аудита и сертификация, либо отказ в сертификации
5.	Целевое предназначение в применении	Анализ текущих возможностей, совершенствование процесса разработки	Исключительно принятие решения по текущим возможностям с целью сертификации
6.	Фундаментальная цель создания	Предложение метрики достижения соответствующего (модельного) уровня качества	Практический метод совершенствования существующих в компании процессов разработки
7.	Характер представления требований	Детальный	Абстрактный
8.	Взаимодополняемость с аналогичными документами	Может выступать в качестве детализирующего дополнения к стандарту ISO 9001-2015	Является концептуально-постановочным документом для применения стандарта ISO/IEC 15504

Выбор принципиальной, методологической основы для формирования базиса требований к качеству ПАК управления МКС позволил выявить общее поле требований к указанным комплексам, но конкретизировать их на предметную

область управление авиаробототехникой стало возможно через соответствующее группирование или структурирование применительно к процессам формирования качества указанных ПАК и их прикладного программного обеспечения.

### 2.2.2. Структурирование совокупности требований к качеству ПАК управления МКС

Всё базис-множество квалиметрических требований к разрабатываемым (формируемым, модернизируемым, совершенствуемым) ПАК управления МКС и их ППО в ходе диссертационного исследования было рассмотрено как совокупность трех основополагающих направлений для удовлетворения требований потенциальных потребителей :

1. общие требования к проектированию и построению ПАК управления МКС, в целом, как итоговому высокотехнологичному изделию с четко-очерченной областью предназначения;

2. гамма требований к разработке именно программного комплекса (ППО), как основному направлению реализации многосложной функциональности пространственного управления объектами разнородных авиационных роботизированных группировок;

3. требования по эксплуатации создаваемых ПАК управления МКС, как сложных и технологически-многофункциональных образцов современной техники.

Далее была проведена детализация групп и подгрупп по вышеуказанным направлениям согласно подходам, предложенным в [13,14,20,21,129,130] и ранее рассмотренным в данном диссертационном исследовании, что позволило сформулировать следующую каноническую структуру совокупности требований к качеству указанных комплексов (т.е. декомпозицию базис-множество квалиметрических требований к разрабатываемым, формируемым, модернизируемым, совершенствуемым ПАК управления МКС). Здесь данная структура приводится с детализацией до уровня подмножества требований:

- Г1. Подмножество требований к проектированию и построению ПАК управления МКС;
- Г2. Подмножество требований к разработке ПК управления МКС;
- Г3. Подмножество эксплуатационных требований к ПАК управления МКС

Полный вариант методологического базиса квалиметрических требований к ПАК управления МКС с детализацией до подгрупп и требований приведен в Приложении Г. При этом каждое из приведенных требований в указанном базисе рассматривается как некоторая обобщенная норма, требующая своей детализации на конкретном варианте постановки ТЗ (формирования ТУ) для соответствующего образца ПАК управления МКС. Предлагаемый базис позволяет охватить и учесть всю гамма направлений и поднаправлений формирования качества ПАК управления МКС и их ППО, а степень детализации конкретизированных требований определяется при каждом случае задания новой разработки или модификации (модернизации) серийно производимого ПАК.

Определение и задание методологического базиса квалиметрических требований к ПАК управления МКС позволяет говорить о возможности не только формального задания уровня требуемого качества указанных комплексов при формировании ТЗ (ТУ), но и о возможности технологического исследования требуемого качества реализации функций управления разнородными роботизированными авиационными группировками в рамках технологической системы их разработки, создания. Именно такие возможности представляют основной конструктив, обеспечиваемый предлагаемым базисом требований. Суть формирования организационной схемы указанного технологического исследования требуемого качества реализации функций управления элементами МКС стала предметом следующего подэтапа диссертационной работы.

### 2.2.3. Организация формирования требуемого уровня качества реализации прикладных функций управления группировкой МКС

Содержательное наполнение методологического базиса квалиметрических требований к ПАК управления МКС воплощается в жизнь в рамках организации

формирования требуемого уровня качества реализации прикладных функций управления группировкой элементов МКС. Указанное формирование возможно лишь в рамках определенной организационно-логической схемы, которая представлена на рисунке 2.2.3.

Указанная выше схема предусматривает четыре последовательных фазы в формировании требуемого уровня качества реализации прикладных функций управления группировкой элементов МКС, они обозначены в верхней части рисунка 2.2.3. Основой указанной схемы является факт сравнительного анализа желаемого и фактически регистрируемого уровня качества создаваемого ПАК управления МКС. При этом желаемый результат формально описывается кортежем:

$$Q_{\text{жел}}^n = \{g_{\text{ПО}}^k, g_{\text{АП}}^m, P_{\text{Пфунк}}^T, S_{\text{Сфунк}}^l\}, \quad (2.2.1)$$

где:  $Q_{\text{жел}}^n$  - желаемое значение интегрального показателя качества, рассчитанного для  $n$  требований к созданию ПАК управления МКС;

$\{g_{\text{ПО}}^k\}$  - подмножество желаемых значений сводных показателей качества, рассчитываемые для  $k$  требований к разработке ПК в составе ПАК управления МКС;

$\{g_{\text{АП}}^m\}$  - подмножество желаемых значений сводных показателей качества, рассчитываемые для  $m$  требований к формированию и монтажу аппаратной платформы вычислительного комплекса в составе ПАК управления МКС;

$\{P_{\text{Пфунк}}^T\}$  - подмножество желаемых значений сводных показателей качества, рассчитываемые для  $T$  требований по реализации прикладной функциональности ПАК управления МКС;

$\{S_{\text{Сфунк}}^l\}$  - подмножество желаемых значений сводных показателей качества, рассчитываемые для  $l$  требований по реализации системной функциональности ПАК управления МКС.

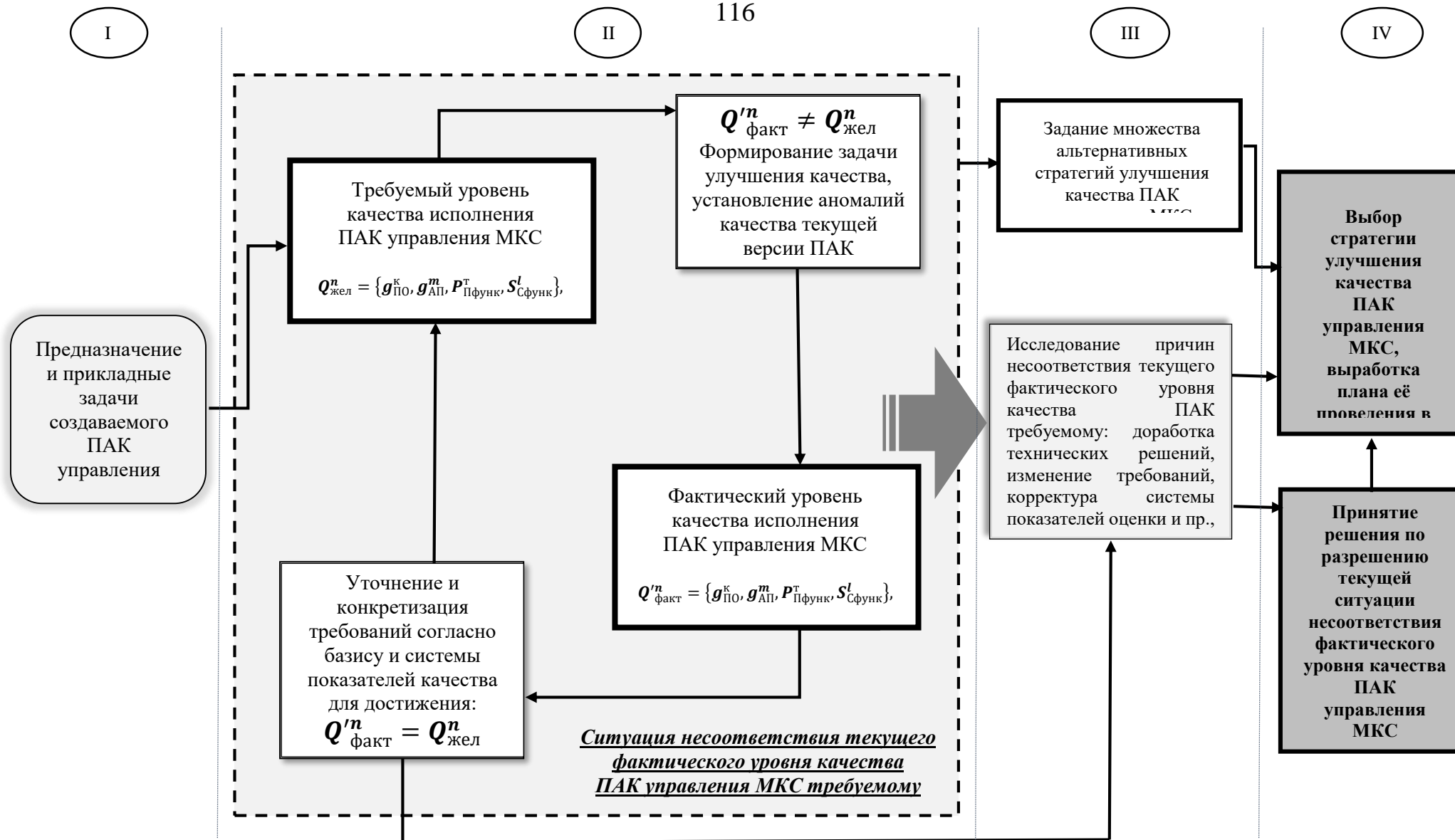


Рисунок 2.2.3. – Обобщенная схема формирования требуемого уровня качества реализации прикладных функций управления группировкой элементов МКС

Соответственно, предполагается, что исполняется равенство, обеспечивающее замкнутый характер системы требований:

$$n = k + m + T + l. \quad (2.2.2)$$

Но, как показывает практика разработки и создания ПАК для сложных программно-технических систем, в процессе создания регистрируется (особенно на начальных этапах создания) не желаемый уровень качества, а некоторый фактический:

$$Q'_{\text{факт}}^n = \{g'_{\text{ПО}}^k, g'_{\text{АП}}^m, P'_{\text{Пфунк}}^T, S'_{\text{Сфунк}}^l\}, \quad (2.2.3)$$

где:  $Q'_{\text{факт}}^n$  - фактически-сложившееся текущее значение интегрального показателя качества, рассчитанного для  $n$  требований к созданию ПАК управления МКС;

$\{g'_{\text{ПО}}^k\}$  - подмножество фактически-сложившихся (измеренных, оцененных на образце изделия) значений сводных показателей качества, рассчитываемые для  $k$  требований к разработке ПК в составе ПАК управления МКС;

$\{g'_{\text{АП}}^m\}$  - подмножество фактических, текущих значений сводных показателей качества, рассчитываемые для  $m$  требований к формированию и монтажу аппаратной платформы вычислительного комплекса в составе ПАК управления МКС;

$\{P'_{\text{Пфунк}}^T\}$  - подмножество фактических значений сводных показателей качества, рассчитываемые для  $T$  требований по реализации прикладной функциональности ПАК управления МКС;

$\{S'_{\text{Сфунк}}^l\}$  - подмножество фактических значений сводных показателей качества, рассчитываемые для  $l$  требований по реализации системной функциональности ПАК управления МКС.

Выявление ситуации несоответствующего текущего качества желаемому есть констатация наличия факта:

$$Q'_{\text{факт}}^n \neq Q_{\text{жел}}^n. \quad (2.2.4)$$

При указанной констатации возникает необходимость детализированного изучения причин и оснований несоответствия текущего фактического уровня качества ПАК управления МКС требуемому. Результирующей фазой данного процесса является определение первоначального множества, а затем выбор конкретизированной стратегии улучшения качества ПАК управления МКС, выработка плана её проведения в жизнь. Фактически это является планом достижения такой квалиметрической ситуации, при которой:

$$Q'_{\text{факт}} = Q_{\text{жел}}^n \quad (2.2.5)$$

При этом именно изначальный методологически обоснованный базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС обеспечивает начальное поле альтернатив и направлений по уточнению и конкретизации указанных требований, для выработки корректур в используемой для оценки системы показателей качества.

Таким образом, методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС в рамках организации формирования требуемого уровня качества реализации прикладных функций управления МКС является определяющим элементом. Он позволяет не только полноценно учесть и систематизировать всю гамму требований к создаваемым ПАК и их ППО при разработке ТЗ (ТУ), но и обоснованно регулировать степень детализации и системной связности указанных требований при разрешении ситуаций несоответствия текущего фактического уровня качества ПАК управления МКС требуемому. Такие ситуации являются неотъемлемой и объективно возникающей составляющей функционирования технологической системы создания ПАК управления МКС: непрерывный контроль качества нацелен на выявление аномалий в формируемом качестве комплексов, а следовательно, и на устранение указанных аномалий, то есть разрешение выше указанных квалиметрических ситуаций.

Разработка методологического базиса квалиметрических требований к ПАК управления МКС в развитие ранее описанной научной концепции не является самоцелью. Именно поэтому в ходе диссертационного исследования

было проанализировано влияние этих научно-методических средств на процесс улучшения качества указанных ПАК.

### **2.3. Рационализация процесса улучшения качества комплексов управления мультикомпонентными системами**

В своей совокупности концепция контроля, улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления МКС и методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС формируют методологические основы улучшения качества комплексов пространственного управления указанными группировками. Такие методологические основы не являются самоцелью научного познания в квалиметрии и выступают теоретическим базисом для получения прикладных методик, способов контроля и улучшения качества ПАК управления МКС. Их практическое применение направлено прежде всего на рационализацию процесса разработки и улучшения качества комплексов пространственного управления группировками аппаратов. Соответственно, эффект от их применения можно показать именно как результат рационализации указанного процесса.

Для теоретического обоснования эффекта от применения предлагаемых методологических основ необходимо смоделировать логико-математическим путем процесс разработки и улучшения качества комплексов пространственного управления МКС: положим, что ПАК управления МКС состоит из  $Q$  функционально-самостоятельных составных частей. Пусть для каждой составной части  $q$ , которая  $q \in Q$ , определены фиксированные семейства (Под семейством в соответствии с [53] понимается проиндексированное множество), соответствующие отдельным элементам функционала целевого назначения составной части ПАК, т.е. определены семейства всех элементов функционала, реализуемых составной частью  $q$  в ходе её целенаправленного применения:

$$\Phi_q = \{\varphi_q^1, \varphi_q^2, \dots, \varphi_q^l\}, \quad (2.3.1)$$



где:  $l$  – общее число всех элементов функционала.

В свою очередь, также задается семейство всех специфических структур данных поддержки (репрезентации, представления) элементов функционала, реализуемых составной частью  $q$  в ходе её целенаправленного применения:

$$D_q = \{d_q^1, d_q^2, \dots, d_q^k\}, \quad (2.3.2)$$

где  $k$  – общее число всех специфических структур данных указанных элементов функционала.

Соответственно, из соотношения (2.3.1) и (2.3.2) вытекает, что каждому функциональному элементу, реализуемому составной частью ПАК  $q$ , может быть сопоставлена специфическая структура данных репрезентации текущего функционального элемента. Это сопоставление позволяет задать математическое отображение:

$$f_q: \Phi_q \rightarrow D_q, \quad (2.3.3)$$

которое каждому элементу функционала, реализуемому составной частью ПАК  $q$ , ставит в соответствие специфическую структуру данных репрезентации этого функционального элемента. Такое отображение характеризуется свойством:

$$\forall \varphi_q^a \in \Phi_q \exists d_q^b \subset D_q, \text{ при } a \in \{1..l\}, b \in \{1..k\}, q \in Q. \quad (2.3.4)$$

При этом единичному элементу функционала  $\varphi_q^a$  может быть сопоставлено несколько специфических структур данных, т.е. взаимной однозначности (биективности) в отображении (2.3.3) нет. Тогда, сюръекция отображения (2.3.3) будет заключаться в сопоставлении каждому единичному элементу функционала  $\varphi_q^a$  следующих двух вариантов:

- подсемейство специфических структур данных репрезентации  $a$ -ого элемента функционала  $d_q^a$  включает один член, т.е. каждый элемент функционала представляет только одна специфическая структура данных;

- подсемейство специфических структур данных  $d_q^a$  включает  $\mu$  членов, где  $\mu \leq l$ , т.е. каждый элемент функционала представляет несколько

специфических структур данных, но не больше чем суммарное количество указанных элементов функционала, то есть:

$$\mu \leq l. \quad (2.3.5)$$

Также возможно смоделировать совокупность всех специфических структур входных данных, потребных составной части ПАК  $q$  в ходе реализации её функциональности, как соответствующее математическое семейство:

$$I_q = \{i_q^1, i_q^2, \dots, i_q^m\}, \quad (2.3.6)$$

где  $m$  – общее число специфических структур данных входного потока данных.

Для семейства (2.3.6), следует, что каждому текущему элементу функциональности, реализуемому  $s$ -м программным компонентом ставится в соответствие необходимая специфическая структура входных данных. Математически это означает, что задаётся сюръективное отображение, которое, ставит в соответствие каждому элементу функциональности, реализуемой составной частью ПАК  $q$ , специфическую структуру входных данных

$$f_q: \Phi_q \rightarrow I_q, \quad (2.3.7)$$

Указанное отображение (2.3.7) характеризуется свойством:

$$\forall \varphi_q^a \in \Phi_q \exists i_q^b \subset I_q, \text{ при } a \in \{1 \dots l\}, b \in \{1 \dots m\}, q \in Q. \quad (2.3.8)$$

При этом единичному элементу функционала  $\varphi_q^a$  может быть сопоставлено несколько специфических структур данных, т.е. сюръекция отображения (2.3.7) будет заключаться в сопоставлении каждому единичному элементу функционала  $\varphi_q^a$  следующих двух вариантов:

- подсемейство специфических структур данных репрезентации  $a$ -ого элемента функционала  $I_q^a$  включает единственный член, т.е. каждый элемент

функционала представляет только одна специфическая структура входных данных;

- подсемейство специфических структур входных данных  $I_q^a$  включает в себя  $\mu$  членов. Это означает, что каждому элементу функционала сопоставлено несколько специфических структур входных данных, но не больше, чем суммарное значение всех специфических структур данных, то есть:

$$\mu \leq m. \quad (2.3.9)$$

Принимая, что для составной части ПАК  $q$  потребна цифровая информация от составной части  $p$ , можно прийти к заключению: сопоставленная специфическая структура выходных данных  $d_p^j$  составной части  $p$  должна строго соответствовать специфической структуре входных данных  $i_q^g$  составной части ПАК  $q$ , что математически можно записать как:

$$d_p^j \equiv i_q^g. \quad (2.3.10)$$

Выше описанная теоретико-множественная модель рассмотрения функционально самостоятельных составных частей ПАК управления МКС позволяет считать, что суммарное число семейств специфических структур данных  $R$  определяется путем множественного суммирования (объединения) семейств специфических структур входных и выходных данных, то есть

$$R = I \cup D. \quad (2.3.11)$$

В свою очередь, семейство внутрикомплексных специфических структур данных  $\bar{R}$  определяется путем множественного умножения (пересечения) семейств специфических структур входных и выходных данных, то есть

$$R = I \cap D. \quad (2.3.12)$$

В тоже время, само множество семейств специфических структур входных и выходных данных возможно подразделить на 3 непересекающихся подмножества:

- специфических структур входных данных всего ПАК –  $A$ ;
- специфических структур выходных данных всего ПАК –  $C$ ;
- специфических структур данных обмена цифровыми данными составных частей внутри ПАК –  $B$ .

Для указанной классификации видов специфических структур данных в ПАК управления МКС будут выполняться следующие соотношения, представленные в виде логико-множественных выражений:

$$R = I \cup D = A \cup B \cup C; \quad (2.3.13)$$

$$\bar{R} = I \cap D = B; \quad (2.3.14)$$

$$A \cap B \cap C = \emptyset. \quad (2.3.15)$$

Каждый текущий элемент функциональности функция составной части ПАК обеспечивает другой составной части специфическую структуру данных для репрезентации передаваемых предметно-содержательных цифровых данных, что на основании принятой логико-множественной нотации и соотношений (2.3.1) – (2.3.15) будет означать

$$\forall \varphi_q^a \in \Phi_q \exists d_q^b \subset D_q. \quad (2.3.16)$$

На преобразование цифровых данных к формату, используемому в текущей составной части ПАК, т.е. на достижение соответствия с текущей специфической структурой данных затрачивается определенное время

$$t_i = f(d_i), \text{ при } \forall d_i \in D_q^a. \quad (2.3.17)$$

Тогда, итоговое время, которое тратится на предоставление данных составной частью ПАК, есть сумма преобразований соответствующих цифровых данных к каждой специфической структуре данных, что в формальном виде представимо как

$$T_q^a = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (2.3.18)$$

где  $n$  – общее число специфических структур данных, сопоставляемых элементу функциональности  $\varphi_q^a$ .

При рационализации процесса создания, формирования и улучшения качества комплексов пространственного управления группировками МКС на базе предлагаемых методологических основ преобразование всех специфических структур репрезентации данных к одному их формату, время будет затрачиваться исключительно на начальное, 1-е преобразование, тогда как оставшиеся специфические структуры данных будут получены за счет дублирования начальной, что означает

$$T_q^a = t_a. \quad (2.3.19)$$

Для составной части ПАК  $q$  время, используемое на преобразование цифровой информации к требуемым специфическим структурам данных, равно суммарному итогу всех преобразований цифровой информации к требуемой специфической структуре данных каждого элемента функциональности текущей составной части ПАК, то есть

$$T_q = \sum_{a=1}^l T_q^a, \quad (2.3.20)$$

где  $l$  – число элементов функциональности, реализуемых текущей составной частью ПАК.

Соответственно для ПАК управления МКС, в целом, общее время, используемое для преобразования цифровой информации к требуемым специфическим структурам данных, есть сумма значений времени преобразований цифровой информации к требуемым специфическим структурам данных по каждой текущей составной части во всем комплексе:

$$T = \sum_{q=1}^Q T_q, \quad (2.3.21)$$

где  $Q$  – общее число составных частей в ПАК управления МКС.

Тогда становится возможным прийти к заключению о снижении временных и трудозатрат на процесс формирования и улучшения качества

ПАК управления МКС при рационализации указанного процесса на базе предлагаемых методологических основ. Широкое применение предложенных концепции контроля и улучшения качества ПАК управления МКС в совокупности с методологическим базисом соответствующих требований объективно ведет к возрастанию временной производительности процесса улучшения качества указанных комплексов. Такой эффект в рационализации указанного процесса является теоретически выводимым и обоснованным, так как когда суммарное время по приведению цифровой информации к каждой текущей специфической структуре данных каждого элемента функциональности каждой составной части ПАК управления МКС больше суммарного времени приведения цифровой информации к обобщенной, гармонизированной и интегрированной онтологии (т.е. единой, интегрированной модели структур данных в ПАК) для всех специфических структур данных по каждому текущему элементу функциональности каждой составной части комплекса, что описывается строгим неравенством:

$$\sum_{q=1}^Q \sum_{a=1}^l \sum_{i=1}^n t_{qai} > \sum_{q=1}^Q \sum_{a=1}^l t_{qa}^*, \quad (2.3.22)$$

где:  $Q$  – общее число составных частей в ПАК управления МКС;

$l$  – число элементов функциональности, реализуемых текущей составной частью  $q$ ,

$n$  – общее число специфических структур данных, сопоставляемых элементу функциональности  $\varphi_q^a$  в составной части  $q$ .

Не менее наглядно можно проследить эффект в рационализации процесса улучшения качества комплексов пространственного управления группировками МКС за счет применения предлагаемых методологических основ, если проанализировать достигаемую экономию выделенных на разработку ПАК управления МКС материальных ресурсов (финансов, материальных запасов и т.п.).

Предположим, что для разработки вопросов функциональной целостности и информационно-технической связности составных частей ПАК

управления МКС назначен определенный объем финансовых и других материальных средств, т.е., говоря обобщенно, ресурс  $S$ . Объем ресурса конечен и неизменен, то есть

$$S = const. \quad (2.3.23)$$

Объективно указанный ресурс должен распределиться следующим образом:

- на разработку элементов функциональности, реализуемых ПАК –  $S_{\Phi}$ ;
- на разработку специфических структур данных –  $S_R$ .

Выделенный ресурс на разработку специфических структур данных  $S_R$ , условно делится на подресурсы разработки по каждому из видов семейств специфических структур входных и выходных данных согласно (2.3.13) – (2.3.15). Это формально представимо как:

$$S_R = S_A + S_B + S_C. \quad (2.3.24)$$

Тогда любой из подресурсов согласно (2.3.24) возможно представить как суммарный итог трат ресурсов на разработку каждой из специфических структур данных входящих в соответствующее подмножество, т.е.:

а) траты ресурсов на разработку элементов прикладной и системной функциональности, реализуемые ПАК управления МКС, есть аддитивная свертка:

$$S_{\Phi} = \sum_{i=1}^l s_{\varphi_i}, \quad (2.3.25)$$

где  $l$  – общее число элементов функциональности, реализуемых ПАК управления МКС;

б) траты ресурсов на разработку специфических структур входных данных в ПАК управления МКС, также представим аддитивной сверткой:

$$S_A = \sum_{i=1}^m s_{a_i}, \quad (2.3.26)$$

где  $m$  – общее число специфических структур входных данных в ПАК управления МКС;

с) траты ресурсов на разработку специфических структур выходных данных в ПАК управления МКС, также представим аддитивной сверткой:

$$S_C = \sum_{i=1}^D s_{c_i}, \quad (2.3.27)$$

где  $D$  – общее число специфических структур выходных данных в ПАК управления МКС;

д) траты ресурсов на разработку специфических структур данных обмена цифровыми данными составных частей внутри ПАК, могут быть формально описаны как:

$$S_B = \sum_{i=1}^n s_{b_i}, \quad (2.3.28)$$

где  $n$  – общее число специфических структур данных составных частей в составе ПАК управления МКС.

Из соотношений (2.3.24) - (2.3.28) не трудно заметить, что преобразование всех видов специфических структур данных составных частей в составе ПАК управления МКС к единой онтологии (е единой интегрированной модели структур данных в ПАК) дает возможность, разработав только одну интегрированную и гармонизированную структуру данных, затратив объем совокупного ресурса  $s_b$ , все другие реализовать без затрат ресурсов, посредством повторения первичной интегрированной структуры данных. Следовательно, при проведенной рационализации процесса формирования и улучшения качества ПАК управления МКС на основе предлагаемых методологических основ суммарные затраты ресурса будут равны затратам на разработку одной, интегрированной модели структур данных, то есть

$$S_B = s_b. \quad (2.3.29)$$

Также можно показать, что применение одной, интегрированной модели структур данных для ПАК управления МКС при рационализации процесса улучшения качества комплексов управления МКС на основе предлагаемых методологических основ ведет к объективной экономии назначенного ресурса



на разработку указанного комплекса. Такой эффект в рационализации указанного процесса является теоретически выводимым и обоснованным, так как когда суммарный ресурс на разработку всех специфических структур данных для обмена цифровой информацией между составными частями внутри ПАК управления МКС теоретически обосновано более, чем ресурс на разработку интегрированной модели структур данных в ПАК, то будет устойчивым и необратимым неравенство

$$S_B > s_b. \quad (2.3.30)$$

Таким образом, проведенное частное теоретическое исследование позволило перейти к обоснованному выводу о том, что методологические основы улучшения качества комплексов пространственного управления указанными группировками, в составе:

- концепции контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления системами разнородных авиароботов (разнородными роботизированными авиационными группировками);

- методологического базиса квалитетических требований к ПАК управления МКС;

позволяют добиться эффективной рационализации процесса разработки и улучшения качества комплексов управления МКС.

## 2.4. Выводы по II главе

1. Принципиальной особенностью технологической системы создания ПАК управления МКС является сочетание того, что аппаратная платформа указанных комплексов, как правило, единожды проектируется и далее в каждой реализации формируется из готовых комплектующих, согласно спроектированной спецификации, а программное обеспечение в базовом варианте единожды разрабатывается, но в каждой реализации проходит частичную доработку, донастройку со специфической инсталляцией, комплексную стыковку и отладку на конкретной реализации аппаратной платформы и пр. По существу, в рамках технологической системы процессы разработки и процессы доработки-модификации, инсталляции и стыковки практически не делимы. Обоснованным является считать, что качество ПАК управления МКС определяется не столько их аппаратной платформой, при её формировании на базе типизированных решений модульной радио-микро-электроники, сколько соответствующим прикладным ПК.

2. Замена традиционно понимаемой системы качества на базе классических квалиметрических методов на ввод высочайшей итеративности разработки, при которой на каждой итерации проводится быстрый, но и ориентировочный анализ сохранения тенденции на прирост качества продукции, принимается решение на включение в версию итогового продукта разработанного программного кода или возврат в начальный пул тех задач, программная реализация программного кода которых не удовлетворяет принятым в проекте требованиям качества, составляет главный конструктив технологической системы SCRUM для разработки ППО для ПАК управления МКС. Этот конструктив обусловлен методологической сложностью и алгебраической тяжеловесностью математического аппарата методов современной квалиметрии программного обеспечения. Квалиметрический анализ текущего состояния разрабатываемого программного кода ПК управления МКС способен обеспечить выработку корректирующих действий

(операций) для улучшения качества создаваемых комплексов, при условии полноценной интеграции соответствующего инструментария в технологическую систему разработки ПК управления МКС, в частности, и в систему качества одноименных ПАК, в целом.

3. Современные возможности по созданию подсистем качества в рамках технологической системы SCRUM при разработке ППО для ПАК управления МКС существенно ограничены. Это ограничение определяется тем, что использование методологически-сложного и алгебраически-громоздкого математического аппарата современной квалиметрии невозможно в рамках работ конкретного спринта. По сути, объект квалиметрического анализа появляется только по результатам спринта, при наличии возможности его оценить по функционированию в текущей версии ПК. Это значительно сужает возможности наиболее раннего выявления аномалий качества создаваемого ПК управления МКС как программного продукта, возможности обоснованного выявления путей скорейшего улучшения указанного качества.

4. Подсистема качества ППО в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПК управления МКС предполагает охват всех процедур проектирования и разработки программного кода: как в рамках каждого спринта разработки, так и по мере формирования текущей версии создаваемого ПК. Целью создания такой системы качества ПК управления МКС является не только обеспечение условий быстрого выявления факта несоответствия значений текущей версии требуемым (заданным) параметрам, обозначающим потребности потенциального пользователя, но и пошаговое целеполагание мероприятий по исправлению указанного несоответствия.

5. Методологический характер концепции контроля и улучшения качества ПАК управления системами разнородных авиароботов (роботизированными авиационными группировками) заключается именно в концептуально-методическом обобщении всех дальнейших научных результатов в рамках научной основы для инструментария инженеров-системотехников, специалистов по контролю качества при создании

указанных программных комплексов и соответствующих приборных систем, для применения квалитметрических средств и методик в интересах более полноценного применения гибкой методологии разработки прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС.

6. Методологический базис квалитметрических требований к ПАК управления МКС есть расширенное (избыточное, изначальное) упорядоченное множество требований по качеству создания указанных программно-аппаратных комплексов, которое представляет собой канонический свод обобщенных требований, путем конкретизации и уточнения которого может системно формироваться сбалансированное техническое задание на разработку опытного образца (технические условия на производство серийных образцов) этого ПАК. Методологический характер указанного базиса требований определяется высокой степенью общности и широтой охвата совокупности потребительских требований и, соответственно, показателей качества, как производных от степени удовлетворения потребностей в автоматизированных средствах управления разнородными роботизированными авиационными группировками. Объективным источником для определения состава и структуры расширенного и упорядоченного множества требований по качеству создания указанных программно-аппаратных комплексов выступают наиболее продвинутые международные системы профессиональных стандартов в области создания средств и систем автоматизации, профессионального программирования, систем менеджмента качества и процессного подхода в менеджменте.

7. Методологический базис квалитметрических требований к ПАК управления МКС в рамках организации формирования требуемого уровня качества реализации прикладных функций управления группировкой МКС является определяющим элементом. Он позволяет не только полноценно учесть и систематизировать всю гамму требований к создаваемым ПАК и их ППО при разработке ТЗ (ТУ), но и обоснованно регулировать степень детализации и системной связности указанных требований при разрешении

ситуаций несоответствия текущего фактического уровня качества ПАК управления МКС требуемому. Такие ситуации являются неотъемлемой и объективно возникающей составляющей функционирования технологической системы создания ПАК управления МКС: непрерывный контроль качества нацелен на выявление аномалий в формируемом качестве комплексов, а следовательно, и на устранение указанных аномалий, то есть разрешение выше указанных квалиметрических ситуаций.

8. Проведенное частное теоретическое исследование позволило перейти к обоснованному выводу о том, что методологические основы улучшения качества комплексов пространственного управления указанными группировками МКС, в составе: концепции контроля и улучшения качества ПАК управления МКС и методологического базиса квалиметрических требований к ПАК управления МКС, как элементы соответствующего научного инструментария, позволяют добиться эффективной рационализации процесса разработки и улучшения качества комплексов управления мультикомпонентными системами.

### **Глава 3. Метод рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами**

Метод рекурсивной оценки качества программных комплексов (ПК) управления мультикомпонентными системами представляет собой логически взаимосвязанную совокупность модели и методики оценки. При этом, модель есть некоторое представление процесса рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, с акцентированием на конструктиве этого процесса, а методика – алгоритм действий и расчетов при проведении указанной оценки. Основным конструктивным отличием метода является его ориентированность на итеративно-этапный или рекурсивный характер разработки ПК управления МКС в рамках доминирующей технологической системы SCRUM.

#### **3.1. Рекурсивный характер разработки программных комплексов управления мультикомпонентными системами**

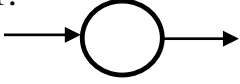
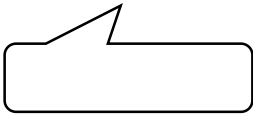
Программные комплексы управления МКС, как уже было указано в п.1.2, представляют собой принципиально более сложный класс прикладного ПО, чем традиционное программное обеспечение для систем авионики или авиационной робототехники. Указанная сложность реализуется в технологическом процессе разработки и создания, в соответствующей технологической системе SCRUM, а также комплексирования составных частей, программного обеспечения для ПК управления МКС. В [47,72,74,94] описаны примеры различных технологий разработки ПО для систем высшего класса сложности, к которому относятся ПК управления МКС. Все они отличаются итеративно-многократным характером процесса разработки функционала ППО с требуемым уровнем качества. В терминологии работ [8,7] все указанные виды технологий разработки ППО предусматривают реализацию так называемой спиральной модели разработки, в отличие от более простых видов ПО, когда могут реализовываться последовательные и (или) каскадные модели разработки и создания соответствующих ПАК. Технологии разработки ППО, реализующие спиральную модель разработки, включают в себя соответствующие средства (методы, метрики, методики,

модели и проч.) оценки качества ПО. Но, в отличие от классических метрик качества ПО и квалиметрических методов, указанные средства ориентированы не на получение итогового (генерализованного) заключения о достигнутом в программной разработке уровне качества, а на получение локального заключения о текущей тенденции в изменениях качества разрабатываемого ПО при переходе к следующей итерации (этапу, фазе и пр.) технологического процесса, на выявление отдельных аналогий в качестве создаваемого программного изделия. Такую ориентацию в рамках данного диссертационного исследования принято называть «рекурсивной» (т.е. ориентированной на итеративный характер самой технологии разработки ППО для ПК управления МКС, когда каждая очередная оценка текущего качества выражается через свое предыдущее значение. Иными словами, через обращение к себе самой с предыдущими входными данными). Именно в учете рекурсивности в процедуре оценки качества ППО для указанных ПК заключается конструктивное существо предлагаемого метода оценки.

Наглядно существо рекурсивности предлагаемого метода, как инструментария оценки качества ППО в технологической системе разработки ПК управления МКС можно пояснить на примере средств управления качества, используемых в рамках SCRUM– технологии разработки ПО.

Детально SCRUM (от английского «scrum» – схватка) – технология описана в работах [74,91,93]. Эта технология, как ранее уже указывалось, является реализацией методологии гибкой разработки ПО – Agile. При этом необходимо учитывать, что существо этой технологии заключается в разбиении общей задачи разработки программного средства на последовательность частных подзадач. Каждая подзадача решается группой разработчиков за кратные рабочим дням и неделям число итераций разработки: «постановка задач отдельным разработчикам – индивидуальная разработка элементов ПО – интеграция – проверка и оценка качества ПО». Каждая такая итерация носит условное название «спринт». Количество итеративно исполняемых спринтов, при решении одной частной задачи

разработки, определяется фактом достижения требуемого уровня качества текущего элемента ПО. Обобщенно роль и место средств оценки качества рекурсивного характера в рамках SCRUM – технологии разработки ППО для ПК управления МКС показано на рисунке 3.1.1. На указанном рисунке введены следующие условные обозначения:

1.  сущностная итерация работ, для рассматриваемого примера SCRUM – технологии разработки ППО для ПК управления МКС;
2.  идентификатор мероприятий квалитетического оценивания в рамках SCRUM – технологии и соответствующей технологической системы разработки ПО.

Таким образом, современные технологии разработки высокосложного ППО для робототехнических систем, ориентированы не на использование классических, «тяжеловесных» методов и метрик качества [40-42,50], а на динамичное применение рекурсивных (т.е. оценочно-приближенных, легковесных) методов в рамках так называемой спиральной модели разработки. Приблизительно-оценочный характер квалитетического анализа компенсируется многократностью (итеративностью) проведения процедур оценки качества над одними и теми же компонентами программного кода, в процессе их разработки, создания и отладки. Указанный факт, выявленный в ходе диссертационного исследования, позволил прийти к выводу, что метод оценки качества ПК управления группировкой МКС должен разрабатываться как рекурсивный, соответственно, с ориентацией на его использование в базовой технологии разработки ППО для указанных ПК, основанной на спиральной модели разработки программного обеспечения.



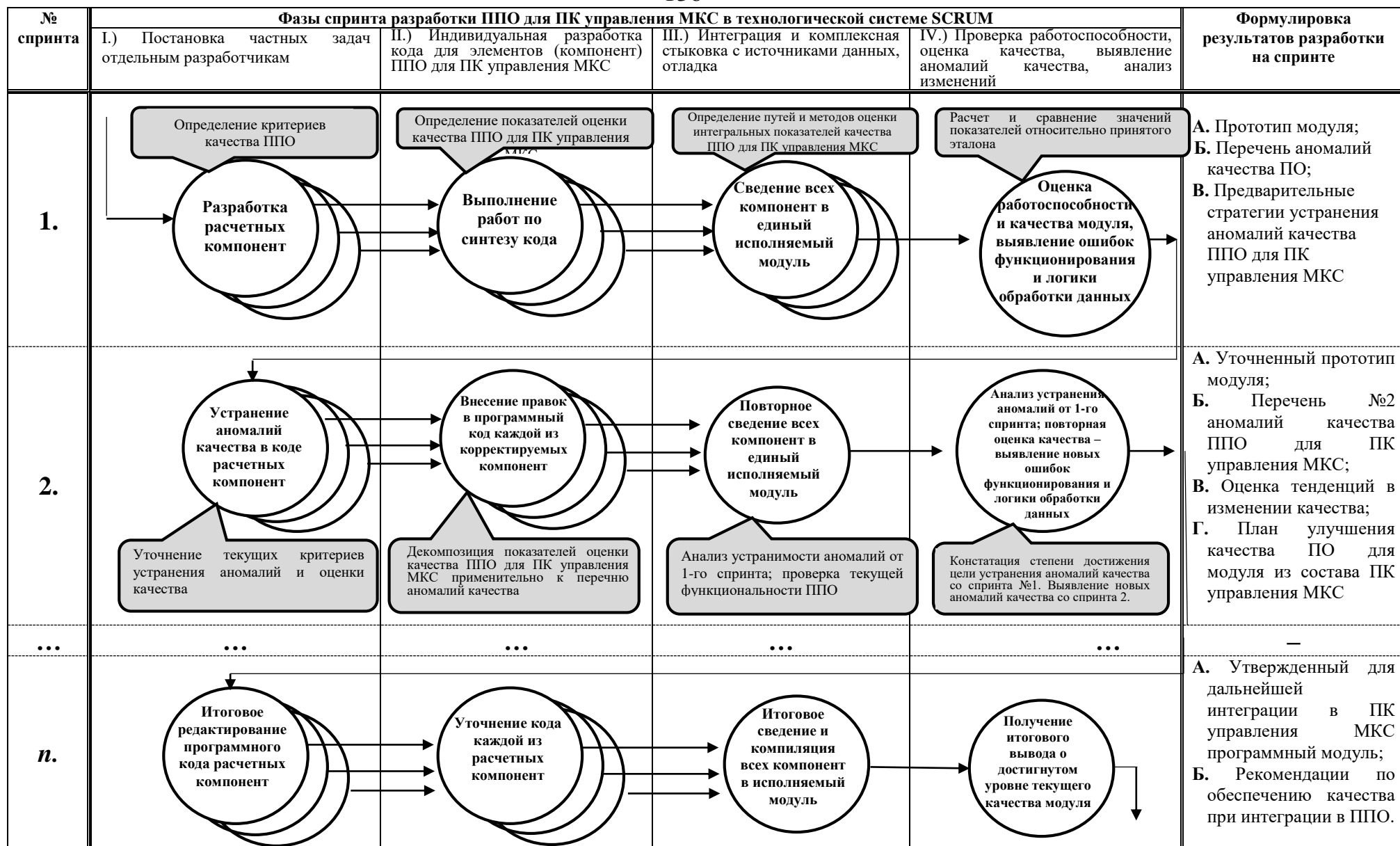


Рисунок 3.1.1. - Роль и место квалиметрических процедур в рамках SCRUM – технологии разработки ПО

### 3.2. Модель рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами

#### 3.2.1. Общие данные по модели

Модель рекурсивной оценки качества ПК управления МКС по своей сущности является логико-математической моделью. Общая структура модели, с точностью до функционально-самостоятельной подмодели (процедуры), показана на рисунке 3.2.1. Модель включает в себя 4 функционально-обособленных подмодели, представляющие соответствующие процедуры рекурсивной оценки:

- синтеза структуры вложенности показателей качества;
- определения индексов композиционной важности показателей качества;
- определения числовых значений сводных показателей качества;
- построения и сравнения профилей качества.

Входными данными для предлагаемой модели являются:

$\{\|d\|_k\}$  – совокупность матриц  $\|d\|$  индивидуальных мнений каждого из  $k$  экспертов о структурной вложенности показателей качества;

$\{q_1, \dots, q_n\}$  – перечень анализируемых показателей качества ПК управления МКС;

$k$  – общее число привлеченных экспертов к первоначальному синтезу структуры вложенности показателей качества, определяемое согласно [4, 92];

$n$  – общее число показателей качества ПК управления МКС, учитываемое при рекурсивной оценке качества;

$\{\|m_{ij}\|_l\}$  – множество матриц экспертизы композиционной важности (весомости), определяемой для каждого из  $l$  узлов вложенности структуры показателей оценки качества.

Промежуточными данными, передаваемыми между подмоделями в рамках модели, являются:

$\|z_{ij}\|$  – матрица доминирования, описывающая структуру вложенности показателей оценки качества рассматриваемых ПК;

$\|w_{ij}\|$  – матрица локализованных атрибутов композиционной важности (весомости) более простых показателей качества во вложенности в более сложный показатель качества ПК управления МКС, согласованная с матрицей  $\|z_{ij}\|$ ;

$\|b_{ij}\|$  – матрица генерализованных индексов композиционной важности (весомости) более простых показателей качества во вложенности в интегральный показатель качества ПК управления МКС;

$\{y(q_i)_p\}$  – семейство текущих оценок значений простых и сводных показателей качества ПК управления МКС;

$\{S_q\}_{b_{max}}$  – множество линий вложенности в структуре показателей качества  $\{q_{ij}\}$  с максимальными значениями генерализованных атрибутов весомости.

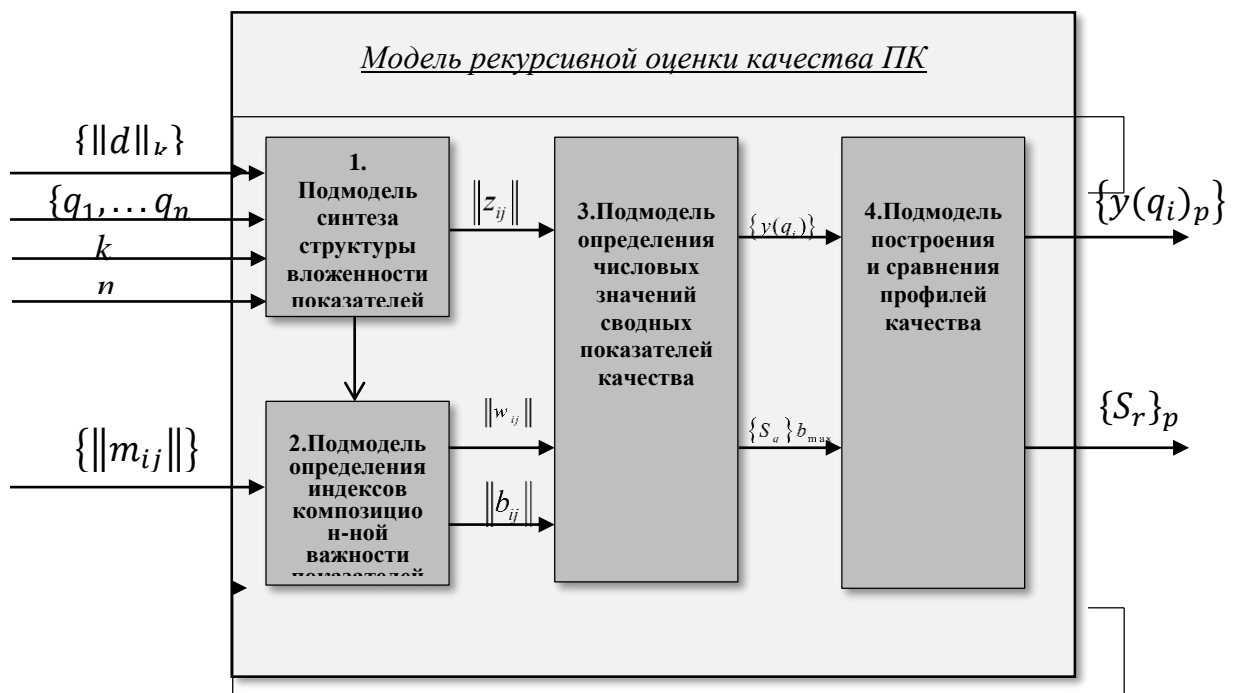


Рисунок 3.2.1. – Структура модели рекурсивной оценки качества ПК управления МКС

Выходными данными предлагаемой модели рекурсивной оценки качества искомых программных комплексов являются:

$\{y(q_i)_p\}$  – подмножество множества  $\{y(q_i)\}$ , включающее оценки показателей качества  $\{q_i\}$  с текущими низкими значениями;

$\{S_r\}_p$  – множество линий вложенности, обеспечивающих наиболее быстрый прирост текущего значения оценки качества ПК управления МКС.

Конструктивом модели рекурсивной оценки качества ПК управления МКС является ее ориентированность на итеративный характер SCRUM – технологии разработки ПО для сложных роботизированных систем. Этот конструктив выражается в ее относительной легкости и результативности применения, в сравнении с более «тяжеловесными» традиционными моделями, методами оценки качества ПО.

Предлагаемый метод, в целом, и модель рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, в частности, следует рассматривать не как самостоятельное средство получения итогового заключения о достигнутом уровне качества ПО, а как средство быстрого поиска текущих аномалий качества разрабатываемого программного обеспечения. Такое средство ориентировано на использование исключительно в рамках SCRUM – технологии разработки ППО для ПАК управления МКС.

### 3.2.2. Синтез системы показателей оценки качества

Синтез системы показателей рекурсивной оценки качества осуществляется на основании данных экспертного опроса специалистов в области квалиметрии ПО для роботизированной техники, который организуется и проводится как описано в [2, 4, 92]. Существо процедуры синтеза заключается в:

- формировании неупорядоченного множества показателей рекурсивной оценки;
- реализации процедуры упорядочивания показателей по принципу иерархической вложенности более простых показателей в более сложные.

Формирование неупорядоченного множества показателей  $\{q_i\}$  осуществляется путем логического построения дерева целей и задач  $\Lambda$  для

функционального предназначения ПК управления МКС. При этом необходимо учитывать, что дерево целей и задач  $\Lambda$  понимается как:

$$\Lambda = \langle \Theta, S \rangle, \quad (3.2.1.)$$

где:  $\Theta$  – множество вершин дерева целей и задач, соответствующее декомпозируемой совокупности показателей качества ПК управления МКС;

$S$  – множество отношений вложенности (дуг дерева целей и задач) более простых показателей качества в состав более сложных.

То есть, учитывая, что:

$$\begin{aligned} \Theta &= \{q_1, \dots, q_i, \dots, q_n\}; \\ S &= \{S_j\}; \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

обобщенно указанное дерево можно описать как:

$$\Lambda = \langle \{q_1, \dots, q_i, \dots, q_n\}; \{S_j\} \rangle. \quad (3.2.3)$$

Тогда, учитывая вложенность простых показателей качества в сложные как:

$$q_i \in \langle \{q_{i1}, \dots, q_{im}, \dots, q_{im}\}; \{S_{jp}\} \rangle, \quad (3.2.4)$$

выражение (3.2.1) может быть полностью раскрыто в виде:

$$\Lambda = \langle \{q_1(\{q_{11} \dots q_{1M}\}) \dots q_i(\{q_{i1} \dots q_{iM}\}) \dots q_n(\{q_{n1} \dots q_{nM}\})\}; \{S_j\} \rangle. \quad (3.2.5)$$

Таким образом, за  $M$  шагов логической декомпозиции функционального предназначения создаваемого ПК управления МКС, согласно (3.2.5) становится возможным сформировать общий перечень (неупорядоченное множество) показателей качества указанных комплексов для рекурсивной оценки.

Процедура упорядочивания показателей для рекурсивной оценки качества ПК управления МКС представляет собой синтез матрицы смежности для графа, описывающего иерархическую вложенность более простых показателей в сложные. Иерархичность такой вложенности является следствием сложности самого понятия «качество ПК управления МКС», а также многоуровневости в его логическом представлении системой соответствующих показателей. Основные шаги процедуры упорядочивания показателей в систему для рекурсивной оценки показаны на рисунке 3.2.2. существо процедуры сводится к следующему:

1. Согласно методам из [2,4,92] определяется изначальная группа из  $k$  экспертов, участвующих в названной процедуре. Каждому из указанной группы экспертов предлагается формализовано представить свое мнение о вложенности каждого показателя из множества  $\{q_{ij}\}$  в виде исходной матрицы предпочтений эксперта  $\|t_{ij}\|$ . При этом элемент этой матрицы определяется на бинарном множестве:

$$t_{ij} \in \{0; 1\}, \quad (3.2.6)$$

А сама исходная матрица предпочтений  $k$ -го эксперта является диагональной:

$$t_{ii} = t_{jj} = 0. \quad (3.2.7)$$

Существо определения конкретного значения элементов исходной матрицы предпочтений каждого из экспертов  $\|t_{ij}\|$ , подчиняется следующему правилу:

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } q_i \succ q_j; \\ 0, & \text{при } q_i \prec q_j \text{ или при отсутствии отношения включения (вложенности)}. \end{cases} \quad (3.2.8)$$

2. Осуществляется построение промежуточной матрицы  $\|q_{ij}\|$ , которая представляет обобщенное мнение о вложенности каждого из показателей качества для всей экспертной группы из  $k$  экспертов. Эта матрица получается путем поэлементного суммирования исходных матриц  $\|t_{ij}\|$ , то есть:

$$\|q_{ij}\| = \sum_{k=1}^K \|t_{ij}\|^k. \quad (3.2.9)$$

Соответственно, элементы промежуточной матрицы  $\|q_{ij}\|$  определяются как суммы соответствующих матриц из (3.2.9), то есть как:

$$q_{ij} = \sum_{k=1}^{k=K} t_{ij}^k. \quad (3.2.10)$$

При этом очевидно, что промежуточная матрица  $\|q_{ij}\|$  также является диагональной:

$$q_{ii} = q_{jj} = 0. \quad (3.2.11)$$

3. На базе промежуточной матрицы  $\|q_{ij}\|$  становится возможным принять обоснованные решения о наличии и направленности отношения вложенности для каждой пары показателей качества  $(q_{ij}, q_{ji})$ . Для этого каждая обратновзаимосвязанная пара значений  $(q_{ij}, q_{ji})$  будет рассмотрена как реализация типовой схемы испытаний Бернулли с 2-мя исходами, согласно (3.2.8). Тогда вероятность  $P_{(d,2,k)}$  выпадения  $d$  успехов при 2 вариантах исходов и при общем числе испытаний равным  $k$ , т.е. общем числе экспертов в экспертной группе будет описываться биномиальным законом распределения:

$$P(d; 2; k) = G_k^d p^d (1 - p)^{(k-d)}, \quad (3.2.12)$$

где:  $p$  – вероятность успеха в одном испытании схемы Бернулли (применительно к рассматриваемой предметной области это вероятность того, что эксперт при определении отношения вложенности отдаст предпочтение одному из показателей  $q_{ij}$  или  $q_{ji}$ );

$d$  – число успешных испытаний в схеме Бернулли (число экспертов, высказавшихся за вложенность  $q_{ji}$  в состав  $q_{ij}$ );

$G_k^d$  – комбинаторный коэффициент, равный числу постановок из  $k$  по  $d$ .

В силу того, что применительно к условиям интерпретации схемы Бернулли в процедуре синтеза системы показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС:

$$p = 1 - p = 1/2; \quad (3.2.13)$$

То выражение (3.2.12) в рамках рассматриваемого метода примет вид:

$$P(d; 2; k) = G_k^d \times 0,5^d \times 0,5^{(k-d)} = G_n^d \times 0,5^k. \quad (3.2.14)$$

В [2] приведен и описан математический аппарат обоснованного расчета граничного числа  $k$  для (3.2.14), превышение которого позволяет обосновано, с заранее заданным уровнем риска, считать принятой одну из двух альтернатив.

Применительно к рассматриваемым условиям это означает следующее решающее правило для синтеза матрицы смежности  $\|\bar{S}_{ij}\|$ , описывающей структуру системы показателей качества ПК управления МКС:

$$\bar{S}_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } d_{ij} \geq k'; \\ 0; & \text{при } d_{ij} < k'. \end{cases} \quad (3.2.15)$$

4. На завершающем шаге процедуры осуществляется полный поэлементный вывод матрицы смежности  $\|S_{ij}\|$  согласно правилу (3.2.15). Именно матрица смежности  $\|\bar{S}_{ij}\|$  задает структуру связей в системе показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС путем представления в виде иерархического графа отношений вложенности между элементами множества  $\{q_{ij}\}$ . В [67] изложено описание представления графов в виде матриц смежности и матриц инцидентности, что показано, применительно к решаемой задаче диссертационного исследования, на рисунке 3.2.2

Основные логические шаги процедуры упорядочивания показателей в систему для рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, представленные на рисунке 3.2.2., представляют собой логически обобщенные совокупности работ, каждая из которых, в свою очередь, подразделяется на фазы – т.е. конкретизированные операции, имеющие привязку к текущему спринту в разработке ППО искомого комплекса. Степень общности в указанном представлении позволяет абстрагироваться от деталей оценки качества конкретных практических проектов разработки ПК управления МКС и выделить общую составляющую рассматриваемой модели. При этом необходимо учитывать, что именно корректное обобщение элементов знания о специфике и особенностях квалиметрической оценки рассматриваемых программных комплексов обеспечивает методологический характер указанной генерализации. Корректность обобщения, в данном случае, достигается опорой на использование апробированного научно-методического аппарата и соблюдением базовых принципов современной квалиметрии и системологии.



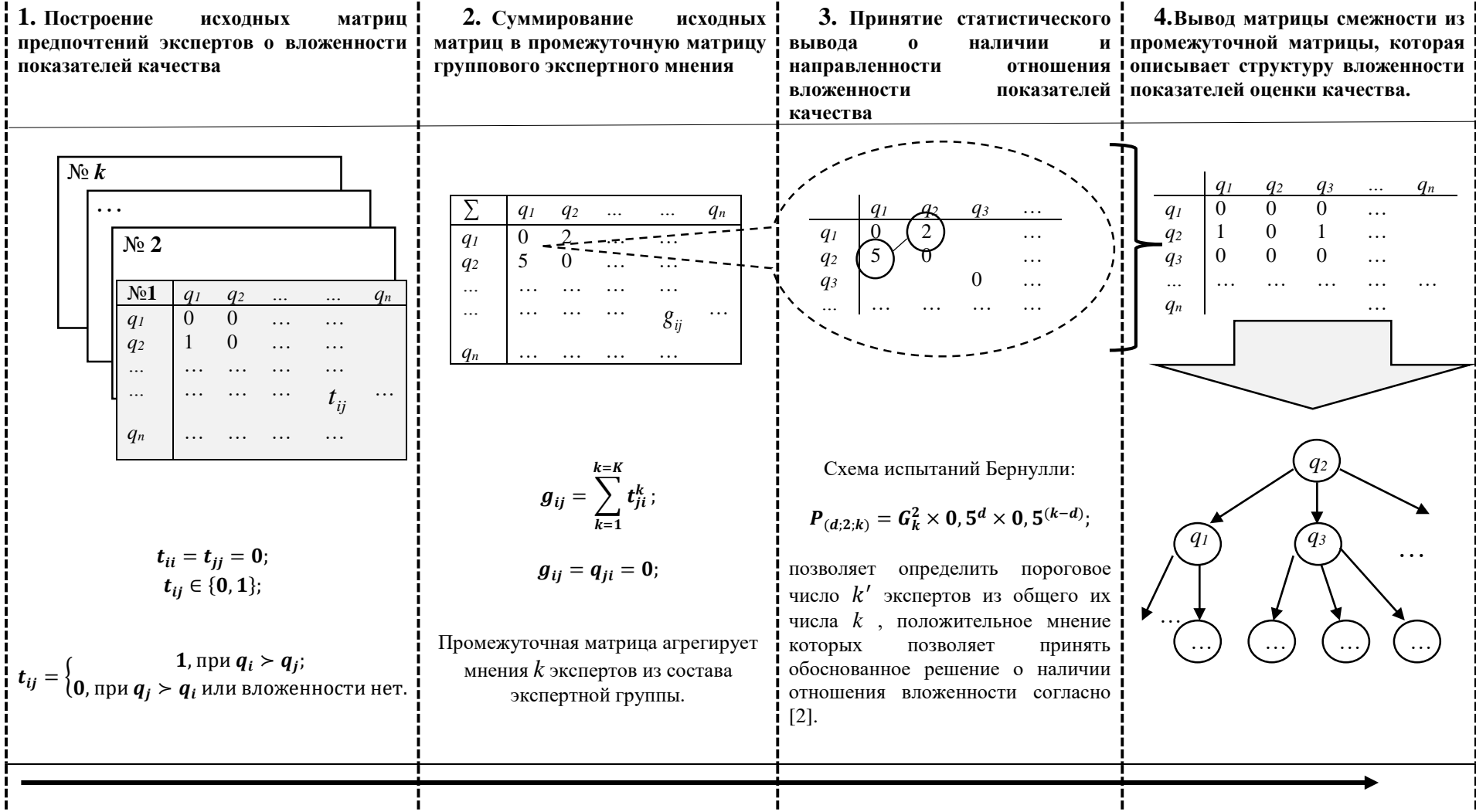


Рисунок 3.2.2. - Основные логические шаги процедуры упорядочивания показателей в систему для рекурсивной оценки качества ПК управления МКС

Таким образом, комбинированное и интерпретированное к условиям синтеза системы показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС применение методологических схем дерева целей и задач, теории графов и схемы испытаний Бернулли в своей совокупности позволяют получить искомую систему показателей. Упорядочивание и структурирование, по принципу вложенности, в конечном итоге, позволяют получить сводную структуру показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, которая в общем виде показана на рисунке 3.2.3.

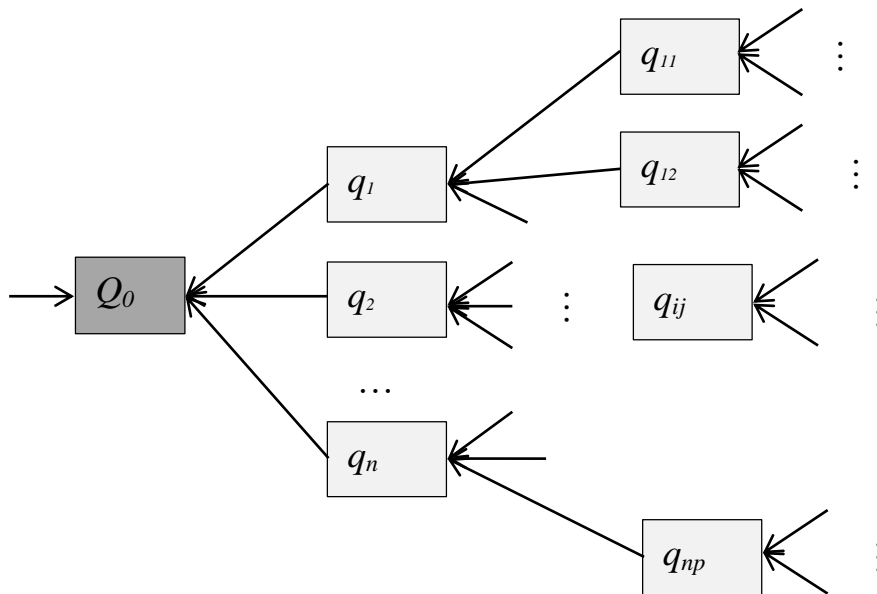


Рисунок 3.2.3. - Структура системы показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС в общем представлении

Представленная система показателей рекурсивной оценки качества позволяет перейти к аналитическому описанию квалиметрических процедур рассматриваемого метода и модели оценки в его составе. Аналитическое представление взаимосвязи показателей рекурсивной оценки качества программных комплексов управления группировкой разнородных роботизированных МКС определяется прежде всего принятой математической формой интегрального критерия такой оценки.

### 3.2.3. Формы интегрального критерия рекурсивной оценки качества

Существо системы показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС заключается в последовательности декомпозиции такого сложного

интегрального показателя как  $Q_0 =$  «качество программного комплекса управления группировкой МКС» на более простые сводные показатели  $\{\bar{q}_{ij}\}$ , вплоть до простейших показателей  $\{q_i\}$ , которые оцениваются непосредственно путем экспертизы. Соответственно, существо процесса оценки качества по описанной системе показателей заключается в последовательных: непосредственной оценке экспертами (-ом) простейших показателей качества  $\{q_i\}$  и многоэтапной свертке значений простейших показателей в сводные  $\{\bar{q}_{ij}\}$  и интегральный  $Q_0$ . При этом рекурсивная оценка значений простейших показателей  $\{c(q_i)\}$  исходит из того, что:

$$c(q_i) = \xi' - \xi, \quad (3.2.16)$$

где:  $\xi'$  – некоторое значение показателя качества  $q_i$  у идеальной модели реализации ПК управления МКС, воспроизводимое в сознании эксперта при оценке;

$\xi$  – текущее наблюдаемое (регистрируемое) состояние показателя качества  $q_i$  у наблюдаемой экспертом версии реализации ПК управления МКС.

Значения  $\{c(q_i)\}$  отнесены на ординальную шкалу (0-10), которая в сводном виде показана в таблице 3.2.1. Соответственно, все оценки сводных  $\{\bar{q}_{ij}\}$  и интегрального показателя качества  $Q_0$  относятся на шкалу (0-10) из таблицы 3.2.1., что обеспечивает единство такого «не инструментального» (или в терминологии работ [6, 10] «мягкого») измерения в системе показателей качества ПК управления МКС. В рамках концептуальной схемы рекурсивной оценки качества именно субъективно-быстрый характер мягкого оценивания простейших показателей  $\{q_i\}$  обеспечивает легкость, оперативность всей процедуры квалиметрического анализа ПК управления МКС. Очевидные недостатки, а именно субъективность оценивания, при этом компенсируется многократностью и повторяемостью итераций (рекурсий) оценивания по мере совершенствования качества искомого ПО.

Таблица 3.2.1. – Шкала оценивания (0-10) простейших показателей при рекурсивной оценке

№ град. по порядку	Числовое выражение градаций оценок с ( $q_i$ )	Интерпретация в разрезе ф. (3.2.16)	Предметная интерпретация градации рекурсивной оценки с ( $q_i$ ) по показателю	Примечания
1.	<b>0</b>	Полное отсутствие совпадений наблюдаемого свойства у прототипа ПК с идеальным представлением в сознании эксперта	Свойство, определяемое показателем $q_i$ у ПК (или компонент его ПО) управления МКС не идентифицируется (не проявляется)	Является начальным уровнем градуирования
2.	<b>2</b>	Слабое совпадение наблюдаемого свойства у прототипа ПК с идеальным представлением в сознании эксперта	Свойство, определяемое показателем $q_i$ у ПК управления МКС (или компонент его ПО) выражено крайне слабо (почти не идентифицируется)	
3.	<b>4</b>	Граничное совпадение наблюдаемого свойства у прототипа ПК управления МКС с идеальным представлением в сознании эксперта	Свойство, определяемое показателем $q_i$ у ПК управления МКС представлено и идентифицируется. Есть необходимый объем оснований для признания свойства определенно выраженным.	
4.	<b>6</b>	Умеренное совпадение наблюдаемого свойства у прототипа ПК управления МКС с идеальным представлением в сознании эксперта	Свойство наглядно и очевидно представлено в прототипе ПК управления МКС; его выражение на общем фоне свойств оцениваемого ПК управления МКС очевидно.	
5.	<b>8</b>	Сильное совпадение наблюдаемого свойства у прототипа ПК управления МКС с идеальным представлением в сознании эксперта	Свойство очевидно доминирует на общем фоне выраженности свойств ПК управления МКС в прототипе.	
6.	<b>10</b>	Полное совпадение наблюдаемого свойства у прототипа ПК управления МКС с идеальным представлением в сознании эксперта	Есть полная уверенность в идеальной реализованности свойства, описываемого показателем $q_i$ , в прототипе ПК управления МКС.	Выражает высший уровень градуирования шкалы оценки.
7.	<b>1, 3, 5, 7, 9</b>	Формализуют переходные градации в состоянии наблюдаемых (регистрируемых) свойств $q_i$	Формализуют переходные градации в состоянии наблюдаемых (регистрируемых) свойств, согласно показателем .....	Промежуточные градации между двумя соседними значениями по п.1-6 шкалы.

Именно выше представленный подход к оценке простейших показателей обеспечивает уход от «тяжеловесности» традиционных методов [8,7,40-42,50]

оценки ПО. Очевидно, что сводные показатели  $\{\bar{q}_{ij}\}$  рассчитываются по значениям простейших показателей  $\{q_i\}$  качества ПК управления МКС с учетом индекса композиционной важности  $\{w_i\}$ . Индекс композиционной важности  $w_i$  – это комплексный показатель, значение которого показывает важность, вес, значимость и пр. данного  $i$ -го показателя  $q_i$  в композиционном объединении с другими показателями в составе более сложного сводного показателя. Выделяют локальные индексы композиционной важности  $\{w_i\}$  – т.е. индексы, фиксирующие важность в композиции ближайшего сводного показателя  $\bar{q}_j$ , и генерализованные индексы композиционной важности  $\{u_i\}$  – т.е. индексы, фиксирующие важность в композиции интегрального показателя качества ПК управления МКС –  $Q_0$ . При этом, указанные виды индексов композиционной важности связаны следующим математическим соотношением:

$$U_p = \prod_{i=1}^p w_i, \quad (3.2.17)$$

где  $p$  – число уровней композиций простейших показателей  $q_i$  при свертке в сводный (интегральный) показатель качества ПК управления МКС –  $Q_0$ .

Определены следующие математические свойства индексов композиционной важности  $\{w_i\}$  показателей  $\{q_i\}$  качества ПК управления МКС:

- определены на единичном интервале вещественных чисел:

$$w_i \in (0; 1), \quad (3.2.18)$$

$$w_i \in R; \quad (3.2.19)$$

- нормализованы в рамках одной композиции в сводный показатель:

$$\sum_{i=1}^z w_i = 1; \quad (3.2.20)$$

где  $z$  – число более простых показателей  $\{\bar{q}_{ij}\}$  в композиции более сложного сводного показателя  $q_i$  качества ПК управления МКС.

Подмодель определения (установления и расчета) индексов композиционной значимости показателей  $\{q_i\}$  в сводном и интегральном показателе качества  $Q_0$  ПК управления МКС приведена ниже в пп.3.2.4.

Наличие значений оценок простейших показателей качества  $\{c(q_i)\}$ , получаемых от экспертов, и их индексов композиционной важности  $\{w_i\}$  позволяет математически связать указанные значения оценок со значениями сводных  $\{\bar{q}_{ij}\}$  и интегральной оценок  $Q_0$  качества ПК управления МКС, через соответствующие алгебраические формы интегрального критерия качества.

Необходимо указать, что рекурсивная оценка качества ПК управления МКС не предполагает использования одной, стандартизированной формы интегрального критерия качества. В базовом варианте предполагается использовать интегральную форму, опирающуюся на аддитивную свертку:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^{m'} w_i \cdot c(q_i); \quad (3.2.21)$$

где  $m'$  - число более простых показателей в составе их композиции более сложного показателя.

Недостаток математической формы (3.2.21) очевиден: она допускает так называемую «естественную» компенсацию низких значений по одним показателям качества  $\{q_i\}$  за счет высоких значений по другим показателям в композиции. Если этот недостаток является определяющим в рамках SCRUM – технологии разработки ППО для ПК управления МКС, то необходимо использовать математические формы интегрального критерия, реализующие мультипликативные свертки:

$$Q_0 = \prod_{i=1}^{m'} w_i \cdot c(q_i). \quad (3.2.22)$$

Очевидно, что при такой форме математического связывания простейших показателей  $\{q_i\}$  со сводными  $\{\bar{q}_{ij}\}$  и интегральным  $Q_0$  показателями качества ПК управления МКС система указанных показателей будет очень «чувствительной», т.е. обнуление хотя бы одного простейшего показателя качества будет приводить к обнулению и интегрального показателя качества, что не трудно отследить по рисунку 3.2.3. Промежуточными математическими свойствами будут обладать

комбинированные формы интегрального критерия качества ПК управления МКС:

1) аддитивно-мультипликативная:

$$Q_0 = \sum_{j=1}^{n'} \left( \prod_{i=1}^{m'} w_i \cdot c(q_i) \right)_j; \quad (3.2.23)$$

т.е. предполагающая мультипликативную свертку в ряде композиций сводных показателей от простейших показателей (уровень 1) до уровня  $m'$  (см. рисунок 3.2.3.) с дальнейшей их аддитивной сверткой в интегральный показатель  $Q_0$  качества ПК управления МКС;

2) мультипликативно-аддитивная:

$$Q_0 = \prod_{j=1}^{n'} \left( \sum_{i=1}^{m'} w_i \cdot c(q_i) \right)_j; \quad (3.2.24)$$

т.е. альтернативно варианту 1), предполагающая аддитивную свертку в композициях сводных показателей от простейших до уровня  $m'$  с дальнейшей их мультипликативной сверткой в интегральный показатель качества.

Предлагаемая модель рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, как часть разработанного метода одноименной оценки, предполагает самостоятельный и обоснованный выбор любой формы интегрального критерия из (3.2.21) – (3.2.24) в зависимости от внешних требований к оперативности проводимой оценки, чувствительности системы показателей качества и пр.

В дальнейшем изложении описания разработанного метода (модели оценки) для простоты математических описаний используется частный вариант аддитивной формы интегрального критерия качества ПК управления МКС – форму линейной свертки:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^{n'} w_i q_i. \quad (3.2.25)$$

Как уже указывалось ранее, значения оценок  $c(q_i)$  являются результатом экспертизы согласно шкале, показанной в таблице 3.2.1, а значения индексов

композиционной важности, как нормированных величин, определяются в рамках соответствующей подмодели, представленной ниже.

### 3.2.4. Определение индексов важности показателей в узлах вложенности

Определение индексов композиционной важности  $\{w_j\}$  в узлах вложенности (в структурных композициях) системы показателей оценки качества ПК управления МКС осуществляется путем расчета арифметически-среднего приближения для числового вектора собственных значений параметров возможной объективизации «мягкого» измерения показателя. Данное утверждение требует ряда специфических пояснений.

#### *3.2.4.1. Композиционная важность как параметр объективности оценки качества*

Традиционно в квалиметрии индексы композиционной важности  $\{w_i\}$ , как и другие аналогичные коэффициенты или ранги, принято рассматривать в выражениях типа (3.2.21) – (3.2.25) как веса удельной значимости оцениваемых частных показателей качества. При этом предполагается достаточная точность в изменении или определении значений оценок по указанным показателям. Очевидно, что существует логически-обусловленная связь между точностью определения индексов композиционной важности и «измерением» значений простейших показателей оценки качества. Именно обеспечение необходимой и достаточной (релевантной) точности значений индексов композиционной важности для более простых показателей в узлах вложенности более сложных сводных и интегрального показателя требуют алгоритмически сложного (алгебраически-тяжеловесного) математического аппарата их определения. Гармонизация в обеспечении единой степени точности определения всех значений в интегральных критериях качества (3.2.21 – 3.2.25) является причиной логико-математической тяжеловесности и малой применимости традиционных методов оценки качества ПО в предметной области ПК управления МКС. Указанная мало применимость вызвана к жизни тем, что «датчиком» измерения



значений по всем простейшим показателям качества выступает человек – эксперт, который руководствуется моделью оценки (3.2.16) согласно номинальной шкале измерений. Очевидно, что в математическом смысле точность таких оценок не является высокой и не поддается точному градуированию и учету. Также очевиден субъективный характер оценок по простейшим показателям, что в традиционных квалиметрических методах [7,8,40-42,50] принято компенсировать использованием методов экспертного опроса и статистической обработкой результатов такого опроса. Высокая трудоемкость таких методов, описанных, например, в [2,4] очевидна.

Рекурсивная оценка качества ПК управления МКС всецело ориентирована на использование в рамках SCRUM – технологии разработки ППО. Это означает, что рекурсивная оценка качества предполагает:

- реализацию основных процедур оценивания в условиях дефицита специалистов – разработчиков ПО, которые могут выступить в роли эксперта для квалиметрической оценки (т.е. невозможность обеспечения создания экспертной группы);

- быстроту и повторяемость процедур оценивания, которые в рамках SCRUM – технологии завершают каждый спринт разработки, т.е. каждую итерацию. А это означает необходимость отказа от «тяжеловесного» математического аппарата обработки результатов оценки и анализа степени их субъективности;

- высокую итеративность актов оценивания качества, задаваемую самой конструктивной идеей повторяющихся спринтов разработки ПО в SCRUM – технологии. Указанная итеративность позволяет накапливать данные об изменении качества ПО от спринта к спринту и уже на базе этой накопленной статистики определять тенденции в совершенствовании ПК управления МКС.

Таким образом, в условиях очевидного субъективного характера получаемых оценок простейших показателей  $\{c(q_i)\}$  и высокой итеративности процедур оценивания в рамках SCRUM – технологии разработки ПО, в целях обеспечения простоты применения разрабатываемого квалиметрического

аппарата оценки, представляется рациональным рассматривать индексы композиционной важности прежде всего как параметры объективности получения соответствующей оценки по простейшему показателю. То есть, при определении важности показателя в композиции его вложенности в более общий (более сложный, сводный) показатель качества ПО, учитывая специфику SCRUM – технологии, учитывается прежде всего степень возможной объективности, которую может обеспечить единичный эксперт при оценивании. По существу, учет степени обеспечиваемой объективности оценки по простейшим показателям качества, в рамках специфики процедуры рекурсивной оценки, становится не менее значим, чем сущностный вес показателей в узлах вложенности иерархической системы показателей оценки качества ПК управления МКС. Это определяется тем, что, имея «на входе» метода весьма субъективные данные оценивания от эксперта, все же возможно за счет их итеративного накопления и отбрасывания данных очевидных «субъективных выбросов», получить продуктивную оценку тенденций в изменении качества разрабатываемого ПО. По сути, именно в этом заключается «зерно» конструктивности предлагаемых модели, метода рекурсивной оценки качества ПК управления МКС. Приведенное постановочное положение предполагает задание индексов композиционной важности, как некоторого комплексного параметра, определяемого по совокупности характеристик анализа степени возможной объективности в оценивании качества по простейшим показателям качества, которые далее, для простоты изложения будут называться «характеристики объективности» и обозначаться  $\{h_p\}$ . Очевидно, что перечень таких характеристик  $\{h_p\}$  не является фиксированным, и он не ограничен их определенным количеством. В рамках предлагаемого метода (модели оценки в его составе) предполагается, что конкретный перечень характеристик  $\{h_p\}$  будет определяться единожды перед расчетом индексов композиционной важности  $\{w_i\}$ , единым способом для всех узлов вложенности системы показателей  $\{q_i\}$ . В качестве исходного модельного перечня характеристик

объективности  $\{h_p\}$  в рамках данной диссертационной работы предлагается вариант, показанный в таблице 3.2.2. При этом получение значений  $h_p$  (оценивание экспертом) также подчиняется правилу (3.2.16), но определяется по процентной шкале как степень достижения возможного идеала.

Таблица 3.2.2. – Модельный перечень характеристик анализа степени возможной объективности оценки  $\{h_p\}$

$p$	Идентификатор (обозначение)	Наименование характеристики с ее смысловой интерпретацией	Примечание
1	$h_1$	Возможность задания количественной (квазиколичественной) меры в измерении (оценке) показателя $q_i$	
2	$h_2$	Наличие общепризнанного (очевидного, объективно существующего и пр.) сравнительного эталона для измерения (оценки) показателя $q_i$	Возможен эталон для группы показателей $\{\hat{q}_i\}$
3	$h_3$	Наличие возможности задания не бинарной (т.е. с тремя и более градациями) шкалы для градуирования значений показателя $q_i$	
4	$h_4$	Независимость показателя $q_i$ в текущей декомпозиции (узле вложенности) системы показателей оценки качества	
...	...	...	...
$k$	$h_k$	Дополнительные характеристики, определяемые спецификой разработки ПК управления МКС	Модельный случай

Наличие перечня характеристик объективности  $\{h_p\}$  позволяет, на основе принятой основной конструктивной идеи метода, определить расчетный механизм подмодели определения индексов композиционной важности показателей качества ПК управления МКС.

#### 3.2.4.2 Расчет индексов композиционной важности

Расчетная схема получения индексов композиционной значимости осуществляется путем выполнения следующей последовательности действий:

1. Формируется матрица  $\|A\|$  – исходная матрица оценки соответствия показателей качества  $\{\hat{q}_i\}$  текущего узла вложенности на соответствие характеристикам объективности  $\{h_p\}$ :

$$\|A\| = \{a_{ij}\}, \quad (3.2.26)$$

где  $a_{ij}$  – экспертная оценка степени реализации  $j$ -ой характеристики объективности  $h_j$  при оценивании показателя качества  $q_i$  ПК управления МКС (%). Соответственно, строки матрицы  $\|A\|$  идентифицируют показатели качества  $\{\hat{q}_i\}$  текущего узла вложенности в более сложный показатель, а столбцы – характеристики объективности  $\{h_p\}$ , т.е.  $a_{ij}(h_j/q_i)$ .

Значение  $a_{ij}$  определяется по правилу (3.2.16) в процентах степени достижимости.

2. Производится суммирование элементов матрицы  $\|A\|$  по строкам, для каждой строки рассчитывается параметр  $b_i$ :

$$b_i = \sum_{j=1}^p a_{ij}(h_j/q_i). \quad (3.2.27)$$

3. Далее осуществляется нормировка параметров  $b_i$  по правилам:

$$B = \sum_{i=1}^n b_i; \quad (3.2.28)$$

$$w_i = \frac{b_i}{B}; \quad (3.2.29)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1. \quad (3.2.30)$$

4. Соответственно, можно вывести на базе соотношений (3.2.26) – (3.2.30) сводную формулу расчета индексов композиционной важности  $\{w_i\}$ , как определения вектора значений арифметических средних по исходной матрице  $\|A\|$ :

$$\{w_i\} = \langle w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_n \rangle; w_i = \frac{\sum_{j=1}^p a_{ij}(h_j/q_i)}{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^p a_{ij}(h_j/q_i))}; \quad (3.2.31)$$

Обобщенно и наглядно расчетная схема определения индексов композиционной важности показана на рисунке 3.2.4.

Наиболее наглядно понять существо реализации предлагаемой схемы расчета индексов композиционной важности можно на конкретном примере для узла вложенности сводного показателя  $q_0$  декомпозируемого на 5 и более простых показателей, что показано на рисунке 3.2.5.

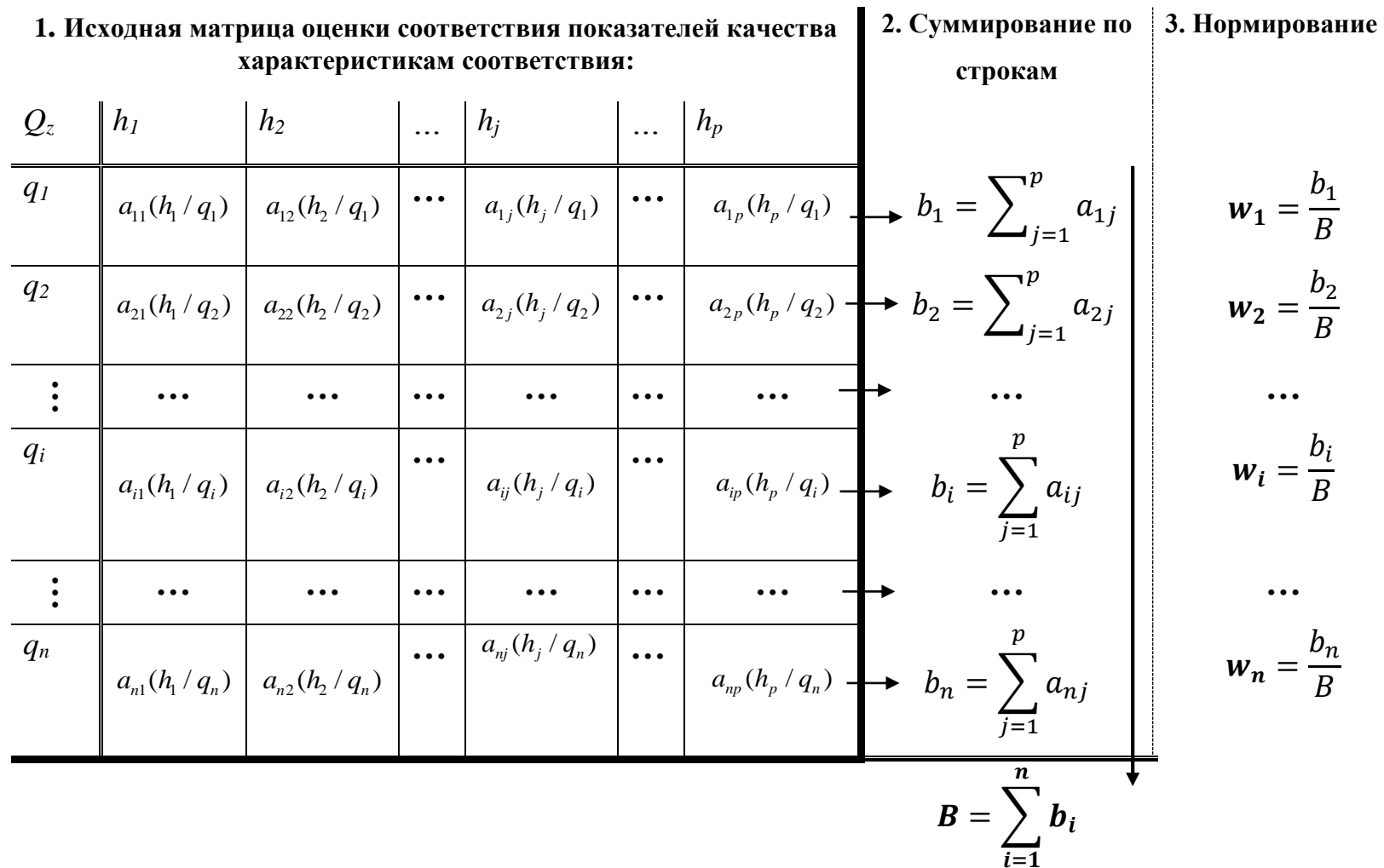


Рисунок 3.2.4. – Обобщенное представление расчетной схемы определения индексов композиционной важности

В свою очередь, наличие индексов композиционной важности, рассчитываемых по формуле (3.2.31) для каждого узла вложенности системы показателей оценки качества рассматриваемого ПО, и наличие обоснованной формы интегрального критерия качества из (3.2.21) – (3.2.25) для конкретного проекта ПК управления МКС, позволяют по полученным данным экспертного оценивания простейших показателей  $\{c(\bar{q}_i)\}$  рассчитывать числовые значения сводных и интегральных показателей качества.

### 3.2.5. Определение числовых значений сводных показателей и построение профилей качества

Расчет значений сводных и интегральных показателей качества ПК управления МКС осуществляется путем свертки оценок простейших показателей согласно выражению типа (3.2.25). Наличие числовых оценок показателей качества  $\{q_{ij}\}$  по всей системе оценки качества ПК управления МКС, представленной графически на рисунке 3.2.3, позволяет:

- производить сравнение прироста (изменений) качества разрабатываемого ППО на различных спринтах разработки (итерациях в технологической системе SCRUM при разработке программного обеспечения);
- сравнивать качество ПО, разрабатываемого в аналогичных, но альтернативных проектах;
- выявлять текущие аномалии качества в развитии создаваемого ПО;
- определять направления наиболее эффективного наращивания качества на следующем треке разработки ПО.

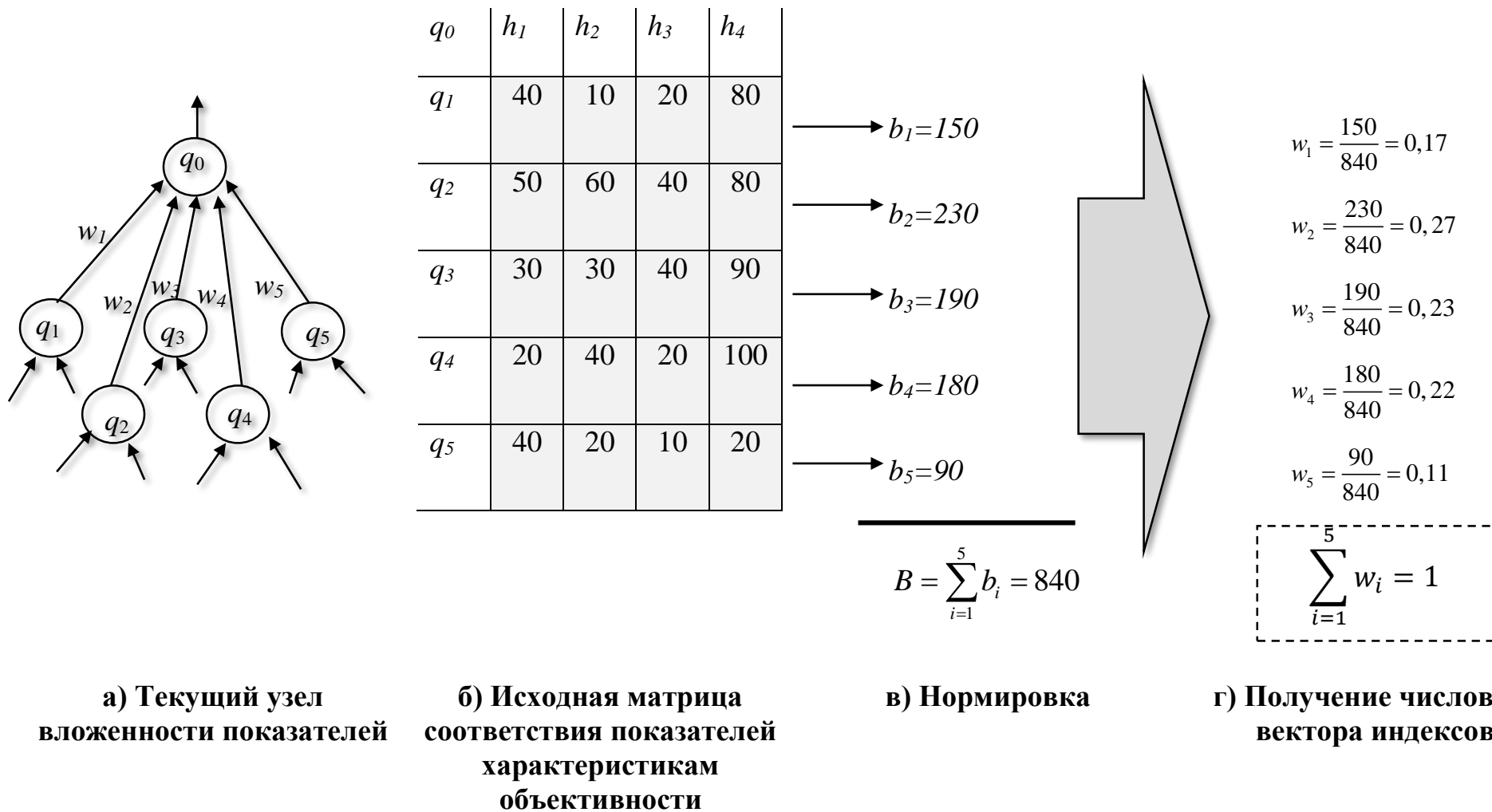


Рисунок 3.2.5. – Пример реализации предлагаемой расчетной схемы определения индексов композиционной важности

Именно для определения показателей качества ПО, концентрация на которых усилий разработчиков на следующем спринте даст наибольший прирост возможностей разрабатываемого ПК, необходимо построение, так называемых, «профилей качества». Профиль качества – сводная диаграмма значений одноранговых показателей качества, позволяющая наглядно определить аномалии в текущем качестве разрабатываемой версии ПО.

Существо выявления указанных эффективных направлений улучшения качества текущей версии ПК управления МКС заключается не только в определении аномалий качества ПО:

$$q'_i = \min(c(q_i)); \quad (3.2.32)$$

но и в ранжировании подмножества показателей качества с аномально низкими значениями по степени их влияния на сводные и интегральные показатели качества, т.е. по правилу:

$$w'_i = \max(w_i); \quad (3.2.33)$$

Тогда общее правило определения эффективного направления  $Q'$  быстрого наращивания качества ПО на следующем спринте согласно SCRUM-технологии будет выглядеть на языке локальных индексов композиционной важности:

$$Q' = \sup(w'_i; q'_i) = (\max(w_i); \min(c(q_i))). \quad (3.2.34)$$

Выражение (3.2.34) также может быть представлено с использованием генерализованных индексов композиционной важности:

$$Q' = \sup(u'_{p_i}; q'_i) = (\max(u'_{p_i}); \min(c(q_i))). \quad (3.2.35)$$

По существу выражения (3.2.34), (3.2.35) описывают ту ветвь композиционной вложенности показателей качества  $\{q_i\}$  в более сложные (сводные) показатели, которая характеризуется наименьшими значениями оценок показателей качества  $\{c(q_i)\}$  в сочетании с высокими значениями индексов композиционной важности, как локальных  $\{w_i\}$ , так и генерализованных  $\{u_{p_i}\}$  соответственно.



Именно для более рационального поиска такой ветви в системе вложенности показателей качества ПК управления МКС и строятся профили качества ПО. Концептуально построение профиля качества ПК управления МКС базируется на следующих фундаментальных свойствах рекурсивной оценки:

- нормированность значений локальных индексов композиционной важности в каждом узле вложенности и генерализованных индексов композиционной важности в интегральном критерии системы показателей рекурсивной оценки качества;
- градуирование (0-10) базовой шкалы оценки значений простейших показателей качества ПК управления МКС;
- существо «измерения» значений, согласно (3.2.16), заключается в определении отстояния текущего состояния ППО по показателю  $q$  от идеала в сознании эксперта.

Указанные свойства рекурсивной оценки в своей совокупности обеспечивают для оценок всех сводных и интегрального показателей качества:

$$c(q_i) \in [0; 10]. \quad (3.2.36)$$

Наличие конечного интервала, изменения оценки по всем показателям  $\{q_i\}$  в пределах согласно выражению (3.2.36) позволяет графически интерпретировать шкалу (0-10) как диаграмму, а значение оценки – как обозначение на такой диаграмме, как это показано на рисунке 3.2.6.

Откладывание метки результата на предлагаемой диаграмме справа налево продиктовано особенностью дальнейшего встраивания и учета таких диаграмм в составе соответствующих профилей качества, а также дальнейшего встраивания профилей качества в систему показателей оценки, что будет детализировано и пояснено ниже. Направление градуирования на указанной диаграмме не имеет принципиального значения и может быть выполнено в противоположном направлении.

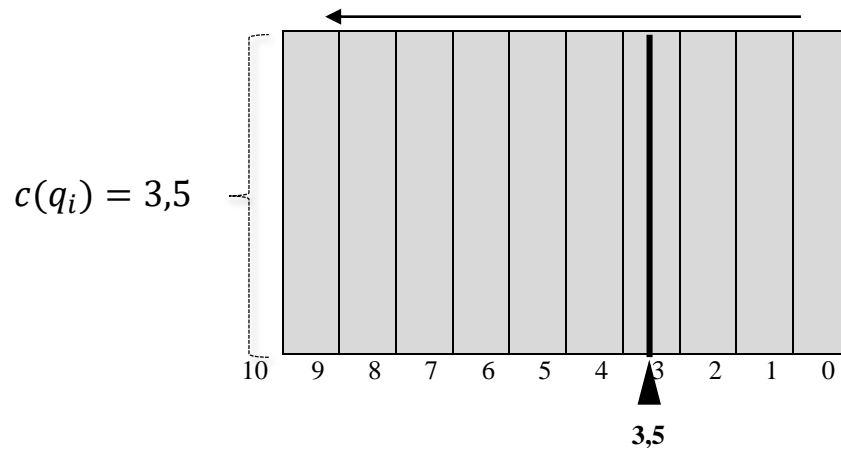


Рисунок 3.2.6. – Представление шкалы (0-10) в виде диаграммы с представлением конкретного значения оценки  $c(q_i)$

Такое графическое представление шкалы и значений рекурсивной оценки показателей качества ПК управления МКС представляет для определенного шага декомпозиции вложенности показателей в системе, показанной на рисунке 3.2.3, получить профиль качества, как это показано на рисунке 3.2.7.

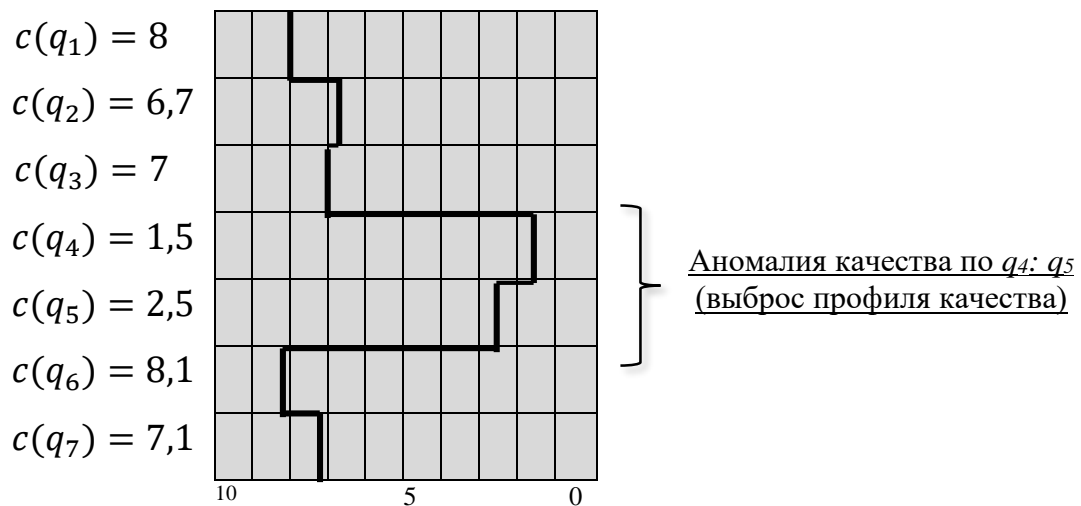


Рисунок 3.2.7. – Построение профиля качества ПК управления МКС для назначенного шага декомпозиции вложенности показателей в системе рекурсивной оценки

Аномалия качества в профиле качества представляет собой выброс, как это показано на рисунке 3.2.7. Очевидно, что ожидать такой сходимости оценок качества, как показано на этом рисунке, затруднительно. Однако, как показывает

опыт разработки ПО для ПК управления МКС по мере роста числа спринтов разработки (переработки) ППО в рамках SCRUM-технологии, а соответственно и числа итераций рекурсивного оценивания, сходимость оценок по показателям растет. Также выбросы в профиле качества могут определяться при рассмотрении ретроспективного ряда изменений значений показателей от спринта к спринту разработки (от итерации к итерации квалиметрического оценивания).

Однако, для выполнения правила (3.2.24), данных, представляемых в профиле качества ПК управления МКС для назначенного шага (уровня) декомпозиции вложенности показателей в системе рекурсивной оценки, недостаточно, т.к. при таком представлении не видна связь значений показателей с интегральной оценкой качества  $Q_0$  (не представлены индексы композиционной важности). Данный вопрос разрешается путем сведения представленного профиля качества с иерархической схемой вложенности более простых показателей в состав более сложных. Результат такого сведения в данной диссертационной работе принято обозначать как «итоговый профиль качества ПК управления МКС» для данного спринта разработки в рамках SCRUM-технологии (соответствующей технологической системы разработки). Пример такого итогового профиля приведен на рисунке 3.2.8. Жирным курсивом на этом рисунке выделено эффективное направление  $Q'$  наиболее быстрого наращивания качества ППО, согласно правилам (3.2.34) – (3.2.25).

Таким образом, построение и сравнение профилей качества ПО для всей системы показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, как соответствующая подмодель рассматриваемой модели предлагаемого метода, представляет собой инструментарий быстрого и наглядного предварительного анализа результатов оценки и тенденции изменения контролируемого качества ПО. Этот инструментарий строго ориентирован на использование в квалиметрических процедурах технологической системы SCRUM (т.е. соответствующей технологии) разработки программного обеспечения для ПК управления МКС.

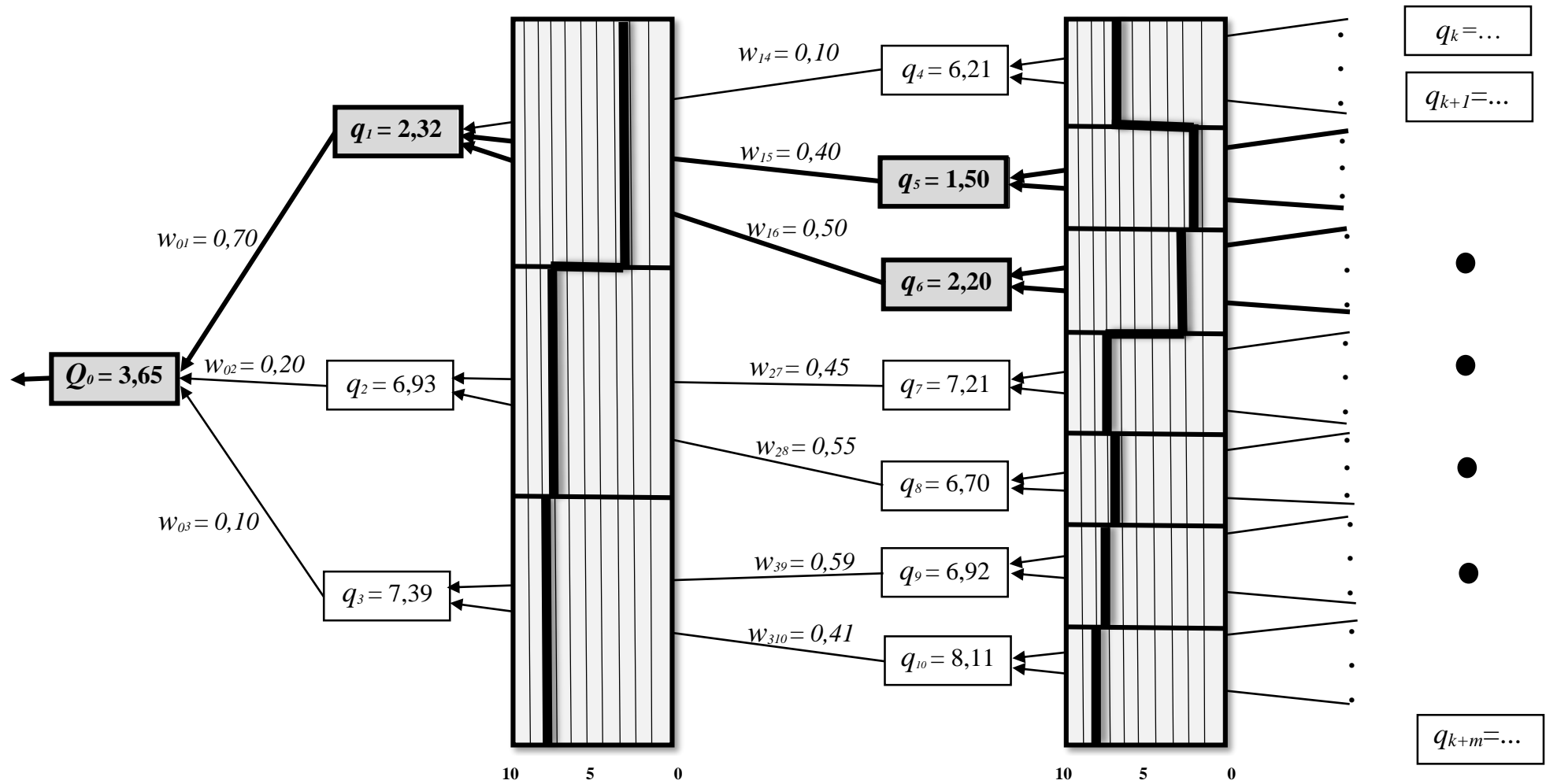


Рисунок 3.2.8. – Модельный пример итогового профиля качества ПК управления МКС

### 3.3. Методика рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами

#### 3.3.1. Особенности организации рекурсивной оценки качества

Организация рекурсивной оценки качества ПК управления МКС и ее особенности тесно увязаны со спецификой разработки ПО в рамках SCRUM-технологии. Такими особенностями являются: 1) высокая итеративность (многократность) оценивания; 2) ориентировочный характер разовой оценки; 3) стремление к установлению не конечного заключения о качестве ПК управления МКС, а к выявлению тенденции его совершенствования, отдельных аномалий указанного качества. Очевидно, что именно итеративность спринтов разработки ПО в SCRUM-технологии и определяет степень рекурсивности методики оценки качества ПК управления МКС.

Методика рекурсивной оценки качества ПК управления МКС является неотъемлемой частью одноименного метода, совместно с вышеописанной моделью. Соответственно, логика реализации предлагаемой методики взаимоувязана с математическим аппаратом модели рекурсивной оценки качества ПО в рамках метода.

Процедуры отбора экспертов, формирования экспертных групп и непосредственного получения данных от экспертов для оценки как индексов композиционной важности  $\{w_i\}$ , так и для оценок простейших показателей качества  $\{c(\bar{q}_i)\}$  являются внешними для предлагаемой методики.

Методика рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, в частности, а одноименный метод, в целом, рассматриваются как системологический инструментарий руководителя (продукт-оунера) разработки соответствующего ПО; инженера- программиста, реализующего проект комплексирования программных компонент в комплекс рассматриваемого типа.

Входные и выходные данные методики соответствуют соответствующим параметрам одноименной модели в рамках метода, а процедуры методики – соответствующим подмоделям рекурсивной оценки ПК управления МКС.

Методика предполагает, что все итерации многократного оценивания качества ППО по каждому из спринтов разработки осуществляются с единой применяемой математической формой интегрального критерия качества. Сравнение профилей качества, полученных по различным формам свертки более простых показателей во вложенности более сложных (формам интегрального критерия качества) не допускается. Смена используемой математической формы интегрального критерия качества автоматически ведет к «перезапуску» процесса накопления статистики итераций оценивания качества ПК управления МКС.

Методика ориентирована, в дальнейшем, на ее полноценную автоматизацию и внедрение, в виде соответствующего программного продукта, в гибкие среды (оболочки) разработки программного обеспечения для комплексов авиационной робототехники, систем авионики и управления аэропространственными процессами (полетами). На этапе диссертационного исследования возможности автоматизации методики апробированы за счет создания соответствующего рабочего программного прототипа. При апробации использовано три контрольных примера, предварительно рассчитанных «вручную», по 10 контрольным точкам и варьированием входных значений в установленных границах изменений. Проведенная апробация указанного прототипа в рамках диссертационного эксперимента, что описано в главе 5, показала жизнеспособность и продуктивность предлагаемого подхода к применению и автоматизации данной методики.

Существо последовательности действий по реализации рекурсивной оценки качества ПК управления МКС представлено в описании соответствующего алгоритма.

### 3.3.2. Алгоритм рекурсивной оценки качества

Алгоритм рекурсивной оценки качества ПК управления МКС обобщенно может быть представлен в виде 12 шагов (этапов вычислительного процесса) - манипуляций с входными данными по преобразованию их в выходные. Указанный алгоритм в нотации блок-схем алгоритмов представлен на рисунке

3.2.9. На указанном рисунке обозначенные блок-схемами процедуры соответствуют подмоделям модели рекурсивной оценки качества ПК управления МКС; параметр  $t$  – текущий номер рекурсии (номер итерации квалитметрического оценивания ПО), который соответствует текущему номеру спринта разработки ПО.

Предлагаемый алгоритм методики рекурсивной оценки качества предполагает дальнейшую его детализацию, т.к. на рисунке 3.3.1. он представлен на определенном уровне логического обобщения. Конкретизированная детализация алгоритма будет определяться узкоспециальными вопросами предназначения аппаратов, для которых разрабатывается искомое ПО. При этом необходимо обратить внимание, что данный алгоритм не предусматривает установления предельного числа итераций квалитметрического оценивания ПО – установление такого предела не является элементом методики, оно определяется требованиями SCRUM-технологии к определению степени достижения целей разработки ПО. Предложенная методика рекурсивной оценки качества ПК управления МКС не носит самостоятельного характера и может быть применена только как соответствующий элемент одноименного метода применительно к рассматриваемой технологической схеме разработки ППО для ПАК управления МКС.

Представленная на рисунке 3.3.1. схема алгоритма рекурсивной оценки качества ПК управления МКС при дальнейшей её детализации применительно к конкретным условиям соответствующей технологической системы создания (формирования) ПАК может быть подвергнута оптимизации с точки зрения количества выполняемых полезных итераций оценки, временных затрат и других параметров организационно-технического характера. Общепринятых разработок по указанной оптимизации на сегодняшний день не существует. При текущем уровне общности такая оптимизация представлялась малопродуктивной и в рамках диссертационного исследования не проводилась (это является предметом дальнейших исследований).

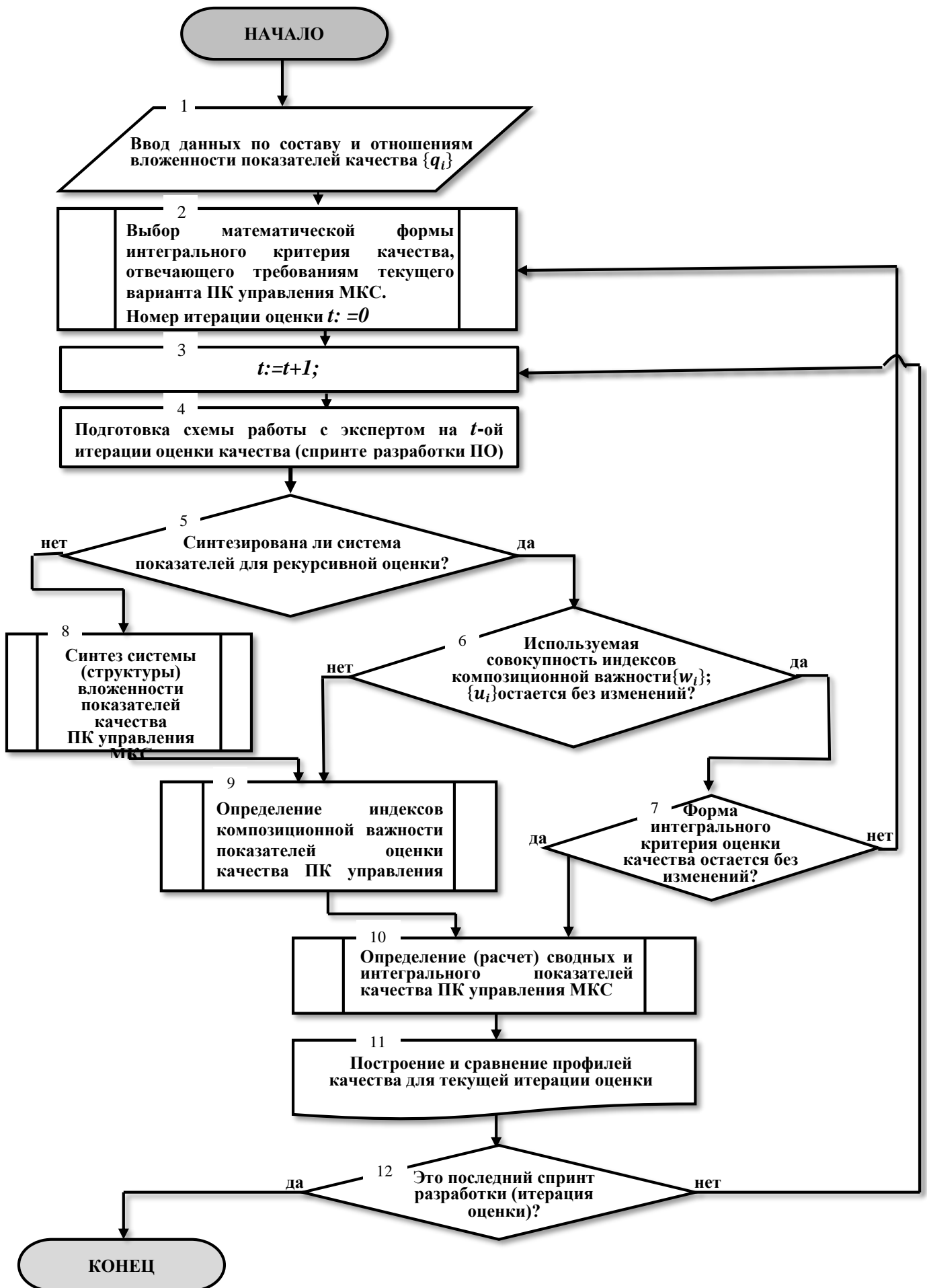


Рисунок 3.3.1. – Обобщенный алгоритм рекурсивной оценки качества ПК



Параметр  $t$ , обозначенный на блок-схеме алгоритма, является параметром рекурсии, т.е. параметром числа итераций выполняемых итераций оценивания. Такое число, как правило, совпадает с номером текущего спринта в технологической системе SCRUM, либо соответствует числу ежедневных итераций разработки по завершении которых производится оценка качества (в зависимости от принятой интенсивности оценки согласно концепции, представленной в гл.2). При этом необходимо учитывать, что принятие решения об изменении используемой математической формы интегрального критерия оценки качества ведет к «автоматическому» обнулению числа учтенных итераций оценивания ( $t=0$ ) и, фактически, как уже указывалось ранее, к перезапуску процесса анализа качества по вновь принимаемой форме критерия качества. Данное положение соответствует модели рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, описанной в пп.3.2.2.

Таким образом, обобщенный алгоритм рекурсивной оценки качества ПК управления МКС увязывает между собой логическую последовательность применения соответствующих четырех процедур оценивания искомого качества, которые детально представлены в рамках модели рекурсивной оценки, а также описывает логику организации цикличной рекурсии вычислительного процесса при проведении указанной оценки в рамках технологической системы разработки SCRUM программного обеспечения. При этом учитывается совершенствование некоторой ограниченной функциональности, назначенной в рамках одного бэклога для разработки и улучшения качества (Если рассматривается бэклог проекта, то итерации оценивания совпадают со спринтами разработки, а если рассматривается бэклог спринта, то рассматриваются ежедневные акты разработки).

Предлагаемый метод рекурсивной оценки качества имеет более широкое поле применения, чем исследуемые комплексы, и по мнению автора может найти свое применение в различных конкретизированных технологических системах разработки ППО, использующих технологию SCRUM, но дальнейшее исследование применимости этого метода не входит в рамки этой работы.

### 3.4. Выводы по III главе

1. Предлагаемый метод рекурсивной оценки качества ПК управления МКС есть взаимосвязанная совокупность модели и методики оценки. При этом, модель есть некоторое конструктивное представление процесса рекурсивной оценки качества указанных комплексов, а методика – алгоритм действий и расчетов при проведении указанной оценки. Основным конструктивным отличием данного метода является его ориентированность на итеративно-этапный или рекурсивный характер разработки ПК управления МКС, отказ от «тяжеловесного» методолого-математического аппарата обработки первичной квалиметрической информации.

2. Современные технологии разработки высоко сложного прикладного ПО для технических систем, к которым относятся и ПК управления МКС, ориентированы не на использование классических, «тяжеловесных» методов оценки и метрик качества, а на динамичное применение рекурсивных, оценочно-приближенных методов в рамках так называемой «спиральной» модели разработки ПО. Приближенно-оценочный характер квалиметрического анализа компенсируется многократностью (итеративностью) проведения процедур оценки качества над одними и теми же компонентами программного кода, в процессе их разработки, создания и отладки.

3. Модель рекурсивной оценки качества ПК управления МКС является логико-математической моделью. Она включает в себя 4 логико-обособленных подмодели:

- синтеза структуры вложенности показателей качества;
- определения индексов композиционной важности показателей качества;
- определения числовых значений сводных показателей качества;
- построения и сравнения профилей качества.

4. Комбинированное и интерпретированное к условиям синтеза системы показатели рекурсивной оценки качества ПК управления МКС применение

методологических схем дерева целей и задач, теории графов и схемы испытаний Бернулли, методологии гибкой разработки ПО (Agile), в своей совокупности позволяют получить искомую систему показателей. Упорядочивание и структурирование, по принципу вложенности, позволяет получить сводную структуру показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС.

5. Модель рекурсивной оценки качества ПК управления МКС ориентирована на получение первичных данных квалитетических “измерений” по простейшим показателям от человека-эксперта (продукт-оунера или скрам-мастера в технологической системе SCRUM). Несмотря на универсальность, доступность и оперативность такого не инструментального измерения качества по простейшим показателям, такие данные характеризуются высоким уровнем субъективности и ориентировочностью в оценивании. Этот факт потребовал обоснованного выбора единой, универсализированной шкалы и меры оценивания по простейшим показателям качества ППО для ПК управления МКС в ходе первичной экспертизы.

6. Мера для не инструментальных измерений качества ПК управления МКС по простейшему показателю определяется как установление степени разницы между текущим наблюдаемым состоянием этого показателя качества у экспертируемой версии реализации ПО с состоянием этого же показателя у идеальной модели в сознании эксперта.

7. В условиях очевидного субъективного характера получаемых первичных оценок простейших показателей и высокой итеративности процедур оценивания в рамках SCRUM-технологии разработки ППО, в целях обеспечения простоты применения разрабатываемого квалитетического аппарата индексы композиционной важности следует рассматривать как параметры объективности получения соответствующей оценки по более простому показателю качества.

8. Расчет значений сводных и интегральных показателей качества ПК управления МКС при рекурсивной оценке осуществляется путем свертки оценок простейших показателей согласно принятой математической формы интегрального критерия качества.

9. Для определения показателей качества ПО, концентрация на которых усилий разработчиков на следующем спринте даст наибольший прирост возможностей разрабатываемого ПК управления МКС, в рамках метода предусмотрено построение профилей качества – т.е. сводных диаграмм значений одноранговых показателей качества, позволяющих наглядно определить аномалии в текущем качестве разрабатываемой версии ПО.

10. Аномалия качества в профиле качества есть подмножество показателей с критически низкими значениями оценки по принятой в методе шкале оценивания. Такое подмножество определяется на множестве показателей заданного уровня вложенности в интегральный показатель качества. Аномалия качества графически на профиле качества представляет собой выброс гистограммы текущих оценок в область низких значений.

11. Построение и сравнение профилей качества разрабатываемого прикладного программного обеспечения для всей системы показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС позволяет проследить связь значений показателей с интегральной оценкой качества в рамках итогового профиля качества, что позволяет установить системные причины возникновения выявляемых аномалий качества ППО на уровне простейших показателей качества. Совокупности простейших показателей качества ПК управления МКС с неудовлетворительно низкими значениями позволяют эффективно определять дальнейшие стратегии улучшения качества и конкретизированные рекомендации по обеспечению наращивания качества отдельных программных компонент.

12. Методика рекурсивной оценки качества ПК управления МКС является неотъемлемой частью одноименного метода. Логика и алгоритм реализации этой методики тесно взаимосвязан с математическим аппаратом модели рекурсивной оценки качества ПО в рамках метода, т.е. методика не носит методологически самостоятельного характера и может быть применена только как соответствующий элемент одноименного метода.

13. Алгоритм методики рекурсивной оценки качества ПК управления МКС увязывает между собой логическую последовательность применения соответствующих четырех математических процедур оценивания искомого качества, которые детально представлены в рамках модели рекурсивной оценки, а также описывает логику организации цикличной рекурсии вычислительного процесса, при проведении указанной оценки в рамках технологической системы разработки SCRUM прикладного программного обеспечения. При этом учитывается совершенствование некоторой ограниченной функциональности, назначенной в рамках одного бэклога для разработки и улучшения качества: если рассматривается бэклог проекта, то итерации оценивания совпадают со спринтами разработки, а если рассматривается бэклог спринта, то рассматриваются ежедневные акты разработки.

14. Логико-математический аппарат разработанного метода рекурсивной оценки качества имеет более широкое поле применения, чем исследуемые комплексы: он может найти свое применение в различных конкретизированных технологических системах, использующих технологию SCRUM, в целях разработки ППО для высокотехнологичных и наукоемких программно-аппаратных систем.

## **Глава 4. Методологические средства улучшения качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами**

### **4.1. Комплекс моделей негативных несоответствий по показателям качества программных комплексов управления**

#### **мультикомпонентными системами**

Комплекс моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС является логическим дополнением к методу рекурсивной оценки качества указанных комплексов, конкретизирует и классифицирует понятие «профиля качества для назначенного шага декомпозиции вложенности показателей в системе рекурсивной оценки», но обладает самостоятельным наукометрическим характером.

#### **4.1.1. Обоснование понятия и классификация типов негативных несоответствий по показателям качества**

Понятие негативного несоответствия по показателям качества ПК управления МКС, в контексте данной диссертационной работы, рассматривается исключительно в рамках терминологии рекурсивной оценки качества указанных программных комплексов. Негативное несоответствие по показателям качества ПК управления МКС есть регистрация факта значительно более низкого значения по отдельному (группе обособленных) независимых показателей в системе показателей оценки качества программного обеспечения этих комплексов. Негативное несоответствие по показателям качества в профиле качества представляет собой выброс текущих оценок в область низких значений. При этом, очевидно, что при оценке качества ПК управления МКС простейшие показатели не обязательно могут измеряться с использованием метрики (3.2.16): для их измерения, оценки возможно использование различных метрических и неметрических шкал, с заданием разнообразных мер. Очевидно, что аналитическое выявление указанных негативных несоответствий по показателям качества, как установление факта «выброса» измеренных, оцененных значений по сводным и простейшим показателям зависит от шкалы и заданной на ней меры измерения указанных значений. Степень погрешности в их не инструментальном измерении или оценке объективно будет влиять на принятие

решения о наличии указанного выброса значений по контролируемым показателям в область низких значений, на учет значений простейших показателей во вложенности в более сложные показатели качества, на определение наиболее эффективного направления улучшения качества на основе итогового профиля качества ПК управления МКС.

Различные формы интегральных критериев качества (3.2.21) – (3.2.25) предусматривают различные варианты алгебраической свертки значений более простых показателей качества при их вложении в состав более сложных (сводных и интегрального) показателей качества. Математическая форма свертки определяет порядок и расчётные особенности получения значений указанных сводных показателей, а особенности задания шкал для оценки (не инструментального измерения) значений показателей качества и мер на указанных шкалах будут определять различные типы и подтипы (алгебраические модели и подмодели) негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС. Учет расчетных особенностей каждого из негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС позволит скорейшим образом распознавать по конкретным значениям показателей тип несоответствия качества, а соответственно быстрее образом интерпретировать тот математический аппарат, который позволит эффективно определять оптимальное направление улучшения качества на основе итогового профиля качества ПК управления МКС в технологической системе SCRUM. Так, в частности, классификационным признаком для выделения отдельных типов (моделей) негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС будет выступать вид применяемых шкал оценки (измерения) значений по простейшим показателям: номинальные (наименований), неметрические (ранговые или наименований) и метрические (интервалов, отношений и абсолютных величин) шкалы. Очевидно, что и задание меры для значений  $s(q)$ , на различных типах шкал из указанных, приведет к появлению множества подтипов (подмоделей) для соответствующих моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС. Например, определение меры для значений какого-либо показателя на счетном множестве лингвистических (вербально описанных) значений:

$$\exists s(q) \in \{\langle \text{значение } 1 \rangle, \dots \langle \text{значение } i \rangle, \dots \langle \text{значение } I \rangle\} \quad (4.1.1)$$

при соблюдении условий:

- индексации указанных возможных лингвистических значений подмножеством натуральных чисел, т.е.:

$$i \in \{1, 2, \dots, I\} ; \quad (4.1.2)$$

- задания отношения строго порядка между указанными значениями лингвистической переменной:

$$(\langle \text{значение } 1 \rangle < \langle \text{значение } i \rangle < \langle \text{значение } I \rangle) ; \quad (4.1.3)$$

предопределяет номинальный характер шкал для оценки значений простейших показателей качества ПК управления МКС, а следовательно, и математическим аппаратом их обработки может выступать аппарат нечеткой логики и т.н. «мягких» вычислений.

В свою очередь, определение меры для значений какого-либо простейшего показателя на множестве вещественных чисел:

$$\exists c(q) \in R \quad (4.1.4)$$

позволяет использовать для измерения или оценки простейших показателей качества ПК управления МКС как неметрические (ранговые), так и все виды метрических шкал измерений, а следовательно и обрабатывать такие измерения с использованием самых различных количественных методов современной квалиметрии, опирающихся на алгебры точных вычислений.

Если мера для значений какого-либо простейшего показателя является вероятностной, т.е.:

$$\exists c(q) = p; \quad p \in [0, 1] \quad (4.1.5)$$

то, это позволяет рассматривать оценки по простейшим показателям как оценки тенденций и использовать для их обработки математические методы опирающиеся на теорию вероятности, логико-вероятностный метод, реже на математическую статистику и пр.

Классификация моделей и подмоделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС, по существу, задает структуру соответствующего комплекса моделей, выносимого на защиту как научный



результат. Структура комплекса моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС, классификация типовых моделей (подмоделей) указанных несоответствий и их краткая описательная характеристика приведены в таблице 4.1.1.

Из таблицы 4.1.1. видно, что различная математическая «природа» получения исходных квалиметрических данных (т.е. опора на определенный тип шкал при измерении или первичной оценке простейших показателей качества, при задании соответствующих видов меры на этих шкалах) предопределяет различные методы аналитической идентификации негативных несоответствий по показателям качества, а соответственно логически является обоснованным говорить о различных моделях в типизации (идентификации по типам) негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС в рамках технологической системы SCRUM разработки ППО. Соответственно, различие в математико-аналитическом представлении негативных несоответствий по показателям качества задает и различие в используемых методах самого квалиметрического анализа и предметной интерпретации его результатов.

Специфика задания меры на шкалах для инструментальных и не инструментальных измерений простейших показателей качества текущей разработки ПК управления МКС определяет соответствующие подклассы основных классов негативных несоответствий по показателям, т.е., иными словами, задает соответствующие подмодели для основных моделей негативных несоответствий по показателям качества. Предлагаемый методологический комплекс описан с точностью до основных подмоделей, согласно таблице 4.1.1.

Дальнейшая детализация описания предлагаемого комплекса аналитических (логико-математических) моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС осуществлено путем последовательного описания существа каждой из моделей, представленных в таблице 4.1.1. На завершающем этапе описания осуществлен сравнительный анализ применимости различных моделей предлагаемого методологического комплекса для решения задач автоматизированной аналитической идентификации негативных несоответствий по показателям качества при разработке ПК управления МКС.

Таблица 4.1.1. – Структура комплекса моделей несоответствий по показателям качества ПК управления МКС

№ п/п	Вид шкалы, на которой измеряется простейшие показатели $q_i$	Базовый научно-методический аппарат получения первичных данных по несоответствию качества ПО	Мера, задаваемая на шкале измерения значений $c(q_i)$	Условное название модели (подмодели) негативного несоответствия качества ПК управления МКС	Целевой метод квалитметрии программного обеспечения	Примечания по характеру использования моделей
1.	Номинальная	1.1. Качественно-количественный анализ	Упорядоченные вербальные понятия	Вербально-качественного характера в определении ( <i>ВКХ-несоответствие</i> )	Метод структурирования/развертывания функций качества (QFD – метод)	Применимо при первичном, ориентировочном анализе качества
		1.2. Семантический дифференциал	Значения лингвистической переменной $c$ различной степенью выраженности	Вербально-семантического характера в определении ( <i>ВСХ-несоответствие</i> )	Метод структурирования/развертывания функций качества (QFD – метод)	Имеет ориентировочный характер
2.	Неметрическая (ранговая)	2.1. Непосредственное экспертное оценивание	Баллы (ранги)	Детерминированная ранговая ( <i>ДР- несоответствие</i> )	Метод иерархической оценки качества на основе интегральной свертки	Соответствует базовому варианту метода рекурсивной оценки качества ПК управления МКС
		2.2. Экспертно-статистические методы оценивания величин	Баллы, нормированные на единичный интервал	Детерминированная рангово-нормированная ( <i>ДРН- несоответствие</i> )	Интегральная свертка показателей в аддитивной, мультипликативной или смешанных математической форме	
3.	на шкале абсолютных величин	3.1. Метрология, аппарат теории инструментальных измерений и точности	Единицы измерений системы СИ	Детерминированная метрическая ( <i>ДМ- несоответствие</i> )	Специализированные метрики оценки качества ППО	
	на шкале отношений	3.2. Статистические методы оценки величин	Вероятностная мера	Логико-стохастическая ( <i>ЛС- несоответствие</i> )	Обобщенный логико-вероятностный метод для анализа сложных стохастических систем	Присуще методам оценки надежности и безошибочности ПО

#### 4.1.2. Аналитическое представление моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС

Все модели (подмодели) негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС, обобщенно представленные выше имеют различную математическую основу. Их последовательное описание построено по принципу: от более простого логико-математического аппарата к более сложному.

##### 4.1.2.1. Группа моделей негативных несоответствий по показателям качества на основе номинальной шкалы оценивания простейших показателей

###### *4.1.2.1.1. Модель ВКХ-несоответствия по показателям качества*

Модель вербально-качественного характера в определении факта наличия негативного несоответствия по показателям согласно профилю качества является наиболее простой по используемому аналитическому аппарату. Данная модель применяется при первичном, примерном экспресс-анализе качества и ориентирована на получение быстрых и нечетких заключений от эксперта. Суть получения аналитической идентификации негативного несоответствия по показателям качества, как выброса текущих параметров по показателям в область низких значений, заключается в реализации метода качественно-количественного анализа на рассматриваемом профиле качества ПК управления МКС. При этом предполагается, что для получения обоснованных значений оценок по простейшим показателям качества, сгруппированным в профиль качества, указанные оценки могут получаться не путем непосредственной экспертизы по шкале (0-10) с использованием меры (3.2.16), а путем предварительного качественно-количественного анализа степени удовлетворения указанным простейшим требованиям всех компонент (составных частей) ПК управления МКС. Такой анализ осуществляется путем построения канонической матрицы качественно-количественного анализа, строки которой соответствуют составным частям (компонентам) ПК управления

МКС, а столбцы соответствуют простейшим показателям качества, которые учтены в текущем профиле этого качества. Обобщенный вид такой матрицы с элементами её интерпретации для применения в области квалиметрии и рекурсивной оценки качества ПК управления МКС показан в таблице 4.1.2.

Таблица 4.1.2. – Матрица качественно-количественного анализа в обобщенном виде

№	Простейшие показатели по профилю качества Компоненты ПК управления МКС	$q_1$	$q_2$	...	$q_j$	...	$q_K$	$\sum_1^K y_{ij}$	Экстремумы
1.	Компонент 1	$y_{11}$	$y_{12}$	...	$y_{1j}$	...	$y_{1K}$	$Y^1$	
2.	Компонент 2	$y_{21}$	$y_{22}$	...	$y_{2j}$	...	$y_{2K}$	$Y^2$	
	.....	...	...	...	...	...	...	...	<i>min</i>
i.	Компонент i	$y_{i1}$	$y_{i2}$	...	$y_{ij}$	...	$y_{iK}$	$Y^i$	
	.....	...	...	...	...	...	...	...	<i>max</i>
m.	Компонент M	$y_{m1}$	$y_{m2}$	...	$y_{mj}$	...	$y_{mK}$	$Y^M$	
	$\sum_1^M y_{ij}$	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_j$	...	$Y_K$		

Каждый элемент матрицы качественно-количественного анализа  $y_{ij}$  задается экспертным решением о соответствии  $i$ -го компонента ППО программного комплекса  $j$ -му требованию. Он определен на бинарном множестве:

$$y \in \{0,1\} \quad (4.1.6)$$

Выражение (4.1.6) может быть определено не только на неметрической шкале порядка, но и на номинальной шкале:

$$y \in \{-, +\} \quad (4.1.7)$$

Элемент матрицы качественно-количественного анализа  $y_{ij}$  принимает соответствующее значение согласно (4.1.6) или (4.1.7) согласно следующего выражения-правила:

$$y_{ij} = B_{ij}G_iS_j \quad (4.1.8)$$

где:  $B_{ij}$  - предикат, задаваемый экспертным выводом об удовлетворении  $j$ -го простейшего квалиметрического показателя уровнем разработки  $i$ -го компонента (составной части) ПК управления МКС;

$G_i$  - предикат, задающий применимость  $i$ -го компонента программного обеспечения ПК управления МКС к оцениванию в рамках принятой квалиметрической процедуры;

$S_j$  - предикат, задающий уровень представительности (репрезентативности) оценивания качества компонент (составных частей) ПК управления МКС по  $j$ -му простейшему квалиметрическому показателю.

В соответствии с матрицей качественно-количественного анализа, заполняемой в результате экспертизы, уровень реализации разработки ПК управления МКС по  $j$ -му простейшему квалиметрическому показателю определяется из выражения:

$$Y_j = \sum_{i=1}^M y_{ij} \quad (4.1.9)$$

где:  $M$  - общее число программных компонент (составных частей) ПК управления МКС, определяющих его совокупное потребительское качество, применительно к технологической системе разработки SCRUM.

Для выражения получаемых значений уровня реализации разработки ПК управления МКС по  $j$ -му простейшему квалиметрическому показателю в виде оценки качества по этому показателю  $c(q_j)$  в соответствии с ранговой шкалой для рекурсивной оценки качества (0-10) из таблицы 3.2.1., т.е. для преобразования:

$$Y_j \rightarrow c(q_j) \quad (4.1.10)$$

осуществляется приведение всех полученных значений согласно (4.1.9) по соотношению максимального значения на шкале (0-10) значений рекурсивной оценки качества к текущему общему числу  $M$  программных компонент (составных частей) ПК управления МКС.

Матрица качественно-количественного анализа также позволяет оперативно проанализировать уровень соответствия по всей гамме простейших

показателей из рассматриваемого профиля качества каждого  $i$ -го программного компонента (анализируемой составной части) ПК управления МКС, что рассчитывается согласно формуле:

$$Y^i = \sum_{j=1}^K y_{ij} \quad (4.1.11)$$

где:  $K$  - сводное число простейших показателей в рассматриваемом профиле качества ПК управления МКС.

При этом могут быть определены т.н. экстремумы качественно-количественного анализа, т.е. программные компоненты, которые на текущем этапе разработки в максимальной и минимальной степени удовлетворяют требуемому уровню качества разработки по рассматриваемой совокупности простейших требований, что позволяет определить критические точки в реализации всего проекта разработки ПК управления МКС, наметить пути скорейшего повышения качества комплекса через совершенствование наиболее не развитых на текущем этапе компонент ПО.

Негативное несоответствие по показателям качества  $c'(q_j)$  (модель идентификации ВКХ-несоответствия) в рамках описанной процедуры получения обоснованных значений оценок по простейшим показателям качества, сгруппированным в профиль качества, будет представлять собой выброс параметра  $Y_j$  в область низких значений, что аналитически сводится к выражению:

$$c'(q_j) = \min\{Y_j\} \quad (4.1.12)$$

Пример матрицы качественно-количественного анализа для оценки базовых составных частей одного из вариантов ПК управления МКС, с возможностью определения на ней ВКХ-аномалии согласно (4.1.12) приведен в таблице 4.1.3. При этом необходимо учитывать, что качественно-количественный анализ широко используется для получения обоснованных значений оценок по простейшим показателям качества, сгруппированным в профиль качества, в рамках технологической системы разработки программного обеспечения SCRUM, т.к. он в наибольшей степени соответствует принципам

указанной технологии: прост в аналитической реализации, оперативен в применении, что позволяет быстро компенсировать ориентировочный характер результатов его применения при высокой итеративности оценивания.

Таблица 4.1.3. – Пример идентификации ВКХ-несоответствия на базе матрицы качественно-количественного анализа

№	Простейшие показатели по профилю качества Базовые составные части ПК управления МКС	Глубина отладки алгоритмов	Общий объем тестирования	Комплексность стыковки блоков	Общая полезность	Связность блоков кода	Откомментированность кода	Структурируемость архитектуры	Информационная избыточность	Рациональность вызова DLL	Институциональность	$Y_i$	<i>Экстремумы</i>
1.	Программный сервер объектов воздушной и наземной обстановки.	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	5	
2.	Картографический сервер со встроенной БД цифровых картографических наборов данных.	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	6	
3.	Метеосервер с подключаемыми каналами получения данных ВМО.	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7	<i>max</i>
4.	Программный сервер моделирования и ведения.	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	5	
5.	Программная система взаимодействия с источниками и потребителями данных.	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	5	
6.	Программный сервер БД и прикладная система ввода/вывода.	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4	<i>min</i>
7.	«Толстый» и «сверхтонкий» программные клиенты с пользовательским интерфейсом.	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	6	
	$Y_j$	1	0	0	7	5	5	5	6	5	4		

#### 4.1.2.1.2. Модель ВСХ-несоответствия по показателям качества

Модель ВСХ- негативного несоответствия по показателям качества ПК управления МКС в отличие от модели ВКХ-несоответствия для реализации аналитической идентификации аномалии качества, как выброса текущих параметров по показателям в область низких значений, основывается на использовании в качестве методологического аппарата получения первичных квалиметрических оценок по простейшим показателям метод семантического

дифференциала. Действительно, если эксперт (экспертная группа) не готов(а) осуществить идентификацию негативного несоответствия на исходных условиях качественно-количественного анализа (т.е. бинарное принятие решений по соответствию требованиям, предъявляемым данным показателем, для каждой составляющей комплекса с дальнейшим линейным суммированием результатов), но готов(а) дать обобщенную ориентировочную оценку по ряду биполярных градуированных оценочных шкал. По существу, это означает, что текущий профиль качества должен быть представлен в виде т.н. «семантического пространства», образуемого набором указанных шкал. Обобщенное представление указанного пространства на базе биполярных градуированных шкал показано на рисунке 4.1.1. Также модель идентификации ВСХ-несоответствия актуальна в ситуациях, когда эксперт не готов вербализовать свои заключения применительно к непосредственному наименованию показателей качества, но может сделать это в условиях использования именно биполярных шкал с обозначением полярных, качественных понятий. Данная теза будет пояснена ниже и раскрыта на примере переформатирования профиля качества, использованного в таблице 4.1.3.

<Показатель качества 1>: “Альтернатива - 1/min” -n ... -1 0 1 ... n “Альтернатива - 1/max”

...

...

...

<Показатель качества j>: “Альтернатива - j/min” -n ... -1 0 1 ... n “Альтернатива - j/max”

...

...

...

<Показатель качества K>: “Альтернатива - K/min” -n ... -1 0 1 ... n “Альтернатива - K/max”

Рисунок 4.1.1. – Обобщенный вид семантического пространства на базе биполярных градуированных оценочных шкал

Очевидно, что в данном случае каждая из шкал семантического пространства является номинальной шкалой с установленным порядком, который имеет определенную степень выраженности (в данном случае, данная степень выраженности справедливо интерпретируется как степень уверенности эксперта в принимаемом решении о присвоении  $i$ -му показателю качества ПК



управления МКС того, или иного альтернативного значения. Соответственно, элемент семантического пространства  $y_{ij}$  задается экспертным решением о  $i$ -й степени соответствия текущего состояния разработки ПК управления МКС требованию по  $j$ -му показателю качества. Он определен на дискретном множестве натуральных чисел:

$$y_{ij} \in \{-n, n\} \quad (4.1.13)$$

где  $n$  – максимальная градация, принятая для семейства биполярных градуированных шкал в семантическом пространстве первичного оценивания простейших показателей качества ПК управления МКС.

Элементы семантического пространства  $y_{ij}$  непосредственно оцениваются экспертом (экспертной группой) в ходе экспертно-статистической процедуры.

Для преобразования получаемых значений степени соответствия текущего состояния разработки ПК управления МКС требованию по каждому  $j$ -му показателю качества в вид оценки качества по этому показателю  $c(q_j)$  в соответствии с ранговой шкалой для рекурсивной оценки качества (0-10) из таблицы 3.2.1.:

$$y_{ij} \rightarrow c(q_j) \quad (4.1.14)$$

осуществляется приведение всех полученных значений согласно (4.1.13) по соотношению максимального значения на шкале (0-10) значений рекурсивной оценки качества к удвоенной текущей размерности ( $2n$ ) семейства биполярных градуированных шкал в семантическом пространстве первичного оценивания простейших показателей качества ПК управления МКС.

Модель идентификации ВСХ-несоответствия по показателям качества  $c'(q_j)$  в рамках описанной процедуры получения первичных квалиметрических значений оценок по простейшим показателям качества, преобразованным в семантическое пространство на базе биполярных градуированных оценочных шкал, будет представлять собой выброс в значениях параметра  $y_{ij}$  в область отрицательных значений, что аналитически представимо как:

$$c'(q_j) = \min\{y_{ij}\} \quad (4.1.15)$$

Пример семейства биполярных градуированных шкал в семантическом пространстве первичного оценивания простейших показателей качества ПК управления МКС, использованных в примере представленном в таблице 4.1.3., с возможностью определения на нем ВСХ-несоответствия согласно (4.1.15) приведен в таблице 4.1.4. В рамках представленного примера предполагается, что экспертные оценки по рассматриваемым показателям согласуются со значениями оценок из предыдущего примера. Это позволяет наглядно понять существо модели идентификации ВСХ-несоответствия.

Таблица 4.1.4. - Пример идентификации ВСХ-несоответствия на базе семантического пространства первичного оценивания простейших показателей качества

1.Уровень в отладке алгоритмов	«Поверхностный»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Глубокий»
2.Общий объем тестирования	«Минимальный»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Максимальный»
3.Характер стыковки блоков программного кода	«Выборочный»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Комплексный»
4.Общая полезность	«Низкая»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Высокая»
5.Связность блоков кода	«Локальная»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Сквозная»
6.Откомментированность кода	«Частичная»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Полная»
7.Структурируемость архитектуры ПК	«Первичная»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Итоговая»
8.Уровень информационной избыточности	«Низкий»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Высокий»
9.Организация вызова DLL-библиотек	«Хаотическая»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Рациональная»
10.Институциональность	«Нет»	-3	-2	-1	0	1	2	3	«Есть»

Соединив полученные значения оценок на градуированных шкалах ломанной линией, в последовательности представления простейших показателей в профиле качества, становится возможным визуально определить ВСХ-

несоответствие по показателям качества, как выброс уровня оценок в область минимальных отрицательных оценок.

К достоинствам модели ВСХ-несоответствия следует отнести её относительную простоту используемого математического аппарата в сочетании с возможностью её применения в условиях объективно-плохой согласованности экспертов и системотехников (специалистов-программистов и скрам-мастера, в терминологии технологической системы SCRUM) в составе команды разработчиков ПК управления МКС.

#### 4.1.2.2. Группа моделей негативных несоответствий по показателям качества на основе неметрической шкалы оценивания простейших показателей

##### 4.1.2.2.1. Модель ДР-несоответствия по показателям качества

Модель ДР- негативного несоответствия по показателям качества является базовой для рассмотренного в п.3 метода рекурсивной оценки качества ПК управления МКС. Данная модель негативного несоответствия по показателям качества ПК управления МКС именуется детерминированной ранговой, т.к. предполагает оперирование со значениями показателей качества различной природы, измеряемыми на неметрических шкалах, т.е. шкалах, на которых задано отношение строго порядка, а другие биективные отношения не заданы. Такие, т.н. неинструментальные, измерения при обработке приводятся к единой шкале, как правило, имеющей бальную меру. Понятие неинструментального измерения в контексте данной работы идентифицирует оценочное мероприятие, когда наименованию конкретного показателя качества ПК управления МКС определяется путем установления соответствия упорядоченных строго градаций достигнутого уровня. В форме итогов такого измерения выступают не столько действительные числа, сколько алгебраические структуры, для которых свойственна только определенная доля характеристик действительных чисел, но обладающих заданием отношения строго порядка между элементами базисного множества такой алгебраической структуры, т.е. в прагматическом понимании,

отношением четко установленного неравенства между используемыми градациями. Это, в целом, привело к созданию в квалиметрии ППО семейства специализированных шкал нечислового измерения (непосредственной оценки) качества, которые полноценно применимы к ПК управления МКС и могут быть эффективно преобразованы к классической ранговой шкале, имеющей бальные градации. К таковым вариантам исходных шкал относятся:

1. Условная шкала предметных наименований, которая разрешает биективные преобразования вида:

$$\phi: R^1 \rightarrow R^1 \quad (4.1.16)$$

для неинструментального измерения, ассоциированного с вещественным числом  $x \in R^1$  на некоторое число  $y = \phi(x) \in R^1$ , если справедливо и реализуется:

$$\forall x_1, x_2 \in R^1 \{x_1 \neq x_2\} \Leftrightarrow \{\phi(x_1) \neq \phi(x_2)\}. \quad (4.1.17)$$

2. Шкала ординальная, которая разрешает соответствующее подмножество инъективных, монотонных преобразований вида (4.1.16) для которых справедливо и реализуется:

$$\forall x_1, x_2 \in R^1 \{x_1 \leq x_2\} \Leftrightarrow \{\phi(x_1) \leq \phi(x_2)\}. \quad (4.1.18)$$

3. Шкала строгих отношений, которая разрешает сразу группу прямо пропорциональных преобразований вида (4.1.16) для которых справедливо и реализуется:

$$y = \phi(x) = \alpha x, \quad \alpha \in R^1, \alpha > 0. \quad (4.1.19)$$

При учете цели преобразования, т.е. при сжатии ( $0 < \alpha < 1$ ) или растяжении ( $\alpha > 1$ ), такая шкала должна отвечать соотношению:

$$\forall x_1, x_2 \in R^1, x_2 \neq 0 \quad \frac{\phi(x_1)}{\phi(x_2)} = \frac{\alpha x_1}{\alpha x_2} = \frac{x_1}{x_2}. \quad (4.1.20)$$

4. Шкала интервалов, которая разрешает группу линейных преобразований вида (4.1.16) с соответствующим коэффициентом, для которого верно:

$$y = \phi(x) = x + \beta, \quad \beta \in R^1. \quad (4.1.21)$$

Такие преобразования с указанным коэффициентом являются, с точки зрения теории измерений, преобразованиями сдвига в силу того, что инвариантом такого преобразования выступает разность в преобразуемых соответствующих градациях:

$$\forall x_1, x_2 \in R^1 \quad \phi(x_1) - \phi(x_2) = (x_1 + \beta) - (x_2 + \beta) = x_1 - x_2. \quad (4.1.22)$$

При том, что выполняется условие:

$$\phi: R^1 \rightarrow R^1: \phi(x) = x + \beta, \quad \beta \in R^1. \quad (4.1.23)$$

5. Шкала разностей и их отношений, которая разрешает группу преобразований вида (4.1.16) в положительной полуплоскости для которых справедливо и реализуется:

$$y = \phi(x) = \alpha x + \beta, \quad \alpha, \beta \in R^1, \quad \alpha > 0. \quad (4.1.24)$$

Такая шкала в качестве инварианта использует отношение разностей преобразуемых соответствующих величин:

$$\forall x_i \in R^1, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad x_3 \neq x_4 \quad \frac{\phi(x_1) - \phi(x_2)}{\phi(x_3) - \phi(x_4)} = \frac{(\alpha x_1 + \beta) - (\alpha x_2 + \beta)}{(\alpha x_3 + \beta) - (\alpha x_4 + \beta)} = \frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4}. \quad (4.1.25)$$

Базовый характер ДР-аномалии качества в рамках метода рекурсивной оценки, описанного в главе 3, определяется тем, что все остальные виды шкал и метрических мер измерения простейших показателей качества ПК управления МКС могут быть сведены к указанной модели за счет преобразования исходной шкалы  $\phi: R^1 \rightarrow R^1$ , монотонного характера, определенной на фундаментальном множестве действительных чисел  $R^1$ .

На указанной основе рационально провести анализ выборки в размере  $k$  вариантов программной разработки ПК управления МКС. При этом следует считать, что качество каждого из вариантов ПК управления МКС представлено соответствующим числовым вектором значений показателей:

$$q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)}), \quad q_i^{(j)} \in [0, 1], \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, k. \quad (4.1.26)$$

То есть, каждый такой числовой вектор есть проиндексированное множество значений показателей  $q = (q_1, \dots, q_m)$ . Следует принять, что на

описанном выше семействе вариантов реализации ПК управления МКС, формально описываемых проиндексированными множествами (числовыми векторами) параметров по показателям качества, определено строгое отношение упорядочивания:

$$(q^{(r)} \triangleright q^{(s)}) \Leftrightarrow \left( \left( \forall i q_i^{(r)} \geq q_i^{(s)} \right) \wedge \left( \exists j q_j^{(r)} > q_j^{(s)} \right) \right), \quad (4.1.27)$$

далее представляемое обозначением в виде знака  $\triangleright$ .

Математическую сущность выражения (4.1.27) надо интерпретировать как: вариант реализации ПК управления МКС доминирует по оцениваемому показателю  $q^{(r)}$  качество варианта реализации  $q^{(s)}$  в то время, как он не менее доминантен по любому частному показателю ( $q_i^{(r)} \geq q_i^{(s)}$ ) и имеет место показатель, по которому этот вариант реализации ПК управления МКС предпочтительнее 2-го из рассматриваемых ( $q_j^{(r)} > q_j^{(s)}$ ). Такое упорядочивание вариантов реализации ПК управления МКС, согласно (4.1.27), есть строгое упорядочивание. С введением строгого упорядочивания по предпочтительности (доминирования), обозначаемого как  $\triangleright$ , следует определить отношение нестрогого порядка, представляемое обозначением в виде знака  $\underline{\triangleright}$ . Его математическое существо сводится к следующему:

$$(q^{(r)} \underline{\triangleright} q^{(s)}) \Leftrightarrow \left( (q^{(r)} \triangleright q^{(s)}) \vee \left( \forall i q_i^{(r)} = q_i^{(s)} \right) \right). \quad (4.1.28)$$

Существует обратная связь в задании отношения порядка строгого  $\triangleright$  как варианта порядка нестрогого  $\underline{\triangleright}$ :

$$(q^{(r)} \triangleright q^{(s)}) \Leftrightarrow \left( \left( q^{(r)} \underline{\triangleright} q^{(s)} \right) \wedge \left( q^{(r)} \neq q^{(s)} \right) \right). \quad (4.1.29)$$

Для реализации указанного упорядочивания вариантов реализации ПК управления МКС на основе доминирования (установления системы отношений порядка) может проявляться следующее объективное препятствие - факт значительного объема вариантов реализации  $q^{(r)}$ ,  $q^{(s)}$ , которые не могут быть упорядочены не строго, то есть по отношению  $\underline{\triangleright}$ . В этот объем, как правило, входят несравнимые варианты реализации ПК управления МКС, для которых по

текущему показателю качества не исполняется ни условие  $q^{(r)} \supseteq q^{(s)}$ , ни условие  $q^{(s)} \supseteq q^{(r)}$ . Преодолевать указанное препятствие для задания порядка как нестрогого (т.е.  $\supseteq$ ) следует таким образом: необходимо выбрать 2-ве многопараметрические вектор-оценки из совокупности

$$\{q = (q_1, \dots, q_m), q_i \in [0,1], i = 1, \dots, m\}, \quad (4.1.30)$$

образуемой всеми числовыми векторами по частным показателям качества. Под выбором многопараметрических вектор-оценок подразумевается отбор 2-х случайных величин (СВ):

$$\tilde{q}^{(r)} = (\tilde{q}_1^{(r)}, \dots, \tilde{q}_m^{(r)}), \tilde{q}^{(s)} = (\tilde{q}_1^{(s)}, \dots, \tilde{q}_m^{(s)}), \quad (4.1.31)$$

равномерно распределённых на дискретном множестве числовых векторов параметров по показателям качества, на данном уровне их декомпозиции. Вероятность упорядоченности, как строгой, так и нестрогой, таких числовых векторов математически описывается как:

$$P\{(\tilde{q}^{(r)} \supseteq \tilde{q}^{(s)}) \vee (\tilde{q}^{(s)} \supseteq \tilde{q}^{(r)})\} = \frac{1}{2^{m-1}}. \quad (4.1.32)$$

Выражение (4.1.19) в рамках логических рассуждений о ДР-аномалии качества ПК управления МКС означает: возможности отыскать мультипараметрические вектора квалиметрических оценок резко сокращаются с возрастанием объема анализируемых простейших показателей. Если оценивается ПК управления МКС по простейшим показателям, то вероятность сравнимости 2-х спонтанно выбранных ПК по всем показателям оценки качества одновременно, менее 1/1000 ( $P = 1/2^{10} = 1/1024 < 0.001$ ). Для достижения целей сравнимости вектор- оценок по элементарным показателям применяются сводные показатели качества, содержание которых сводится к формированию по числовому вектору элементарных показателей качества  $q = (q_1, \dots, q_m)$  некоторого сводного (в т.ч. интегрального) показателя  $Q$ , который есть свертка вида:

$$Q = Q(q) = Q(q_1, \dots, q_m) \quad (4.1.33)$$

на базе множества элементарных показателей  $q$ , соответствующего критерию МОНОТОННОСТИ:

$$\forall q^{(j)}, q^{(l)} \in \{q: q = (q_1, \dots, q_m), q_i \in [0,1]\} \{q^{(j)} \triangleright q^{(l)}\} \Rightarrow \{Q(q^{(j)}) \geq Q(q^{(l)})\}. \quad (4.1.34)$$

Обобщая (4.1.30) – (4.1.34) синтезирующий оператор указанной свертки можно записать в виде:

$$Q_\phi(q; w) = Q_\phi(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \phi^{-1}\left(\sum_{i=1}^m w_i \phi(q_i)\right). \quad (4.1.35)$$

Введя в (4.1.35) степенную функцию:

$$y = \phi(x) = x^\lambda, (x = \phi^{-1}(y) = \sqrt[\lambda]{y}), \quad (4.1.36)$$

становится возможным вывести средневзвешенное степенное с порядком  $\lambda$ , в следующей математической форме:

$$Q_\lambda(q; w) = Q_\lambda(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \left(\sum_{i=1}^m w_i q_i^\lambda\right)^{1/\lambda}. \quad (4.1.37)$$

Изменяя численное значение  $\lambda$ , возможно синтезировать из средневзвешенного степенного (4.1.37) все необходимые функции агрегирования. В частности, в случае  $\lambda = 1$  образуется средневзвешенное арифметическое вида:

$$Q_+(q; w) = Q_1(q; w) = \sum_{i=1}^m w_i q_i, \quad (4.1.38)$$

а  $\lambda \rightarrow 0$  позволяет синтезировать средневзвешенное геометрическое, вида:

$$Q_\times(q; w) = Q_0(q; w) = \prod_{i=1}^m q_i^{w_i} \quad (4.1.39)$$

по значениям элементарных показателей  $q_1, \dots, q_m$ , и т.д.

Указанные математические формы свертки (4.1.38), (4.1.39) самые популярные в актуальной квалиметрической науке функции агрегирования элементарных показателей  $q_1, \dots, q_m$  в сводные и интегральный показатель  $Q$ , репрезентирующий уровень качества ПК управления МКС в общем. Принятие любой из указанных агрегирующих функций (4.1.38), (4.1.39) задается тем



фактом, что они по-разному (со значимой разницей) реализуют учет близких к 0 численных значений элементарных показателей качества, что детально раскрыто в [1,9]. Также необходимо учитывать, что показателю сводной формы (4.1.39) возможно задать форму аддитивной свертки логарифмических преобразований, вида:

$$Q_+^*(q; w) = \ln Q_\times(q; w) = \ln\left(\prod_{i=1}^m q_i^{w_i}\right) = \sum_{i=1}^m w_i \ln q_i = \sum_{i=1}^m w_i q_i^*. \quad (4.1.40)$$

Факт возможности такого задания означает, что в силу объективной монотонности логарифмического преобразования, если вариант создания или развития ПК управления МКС, с оценочным мультипараметрическим числовым вектором  $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$ , доминирует, с позиций рассмотрения сводного показателя мультипликативного вида  $Q_\times(q; w)$ , над вариантом разработки комплекса с вектором оценки  $q^{(l)} = (q_1^{(l)}, \dots, q_m^{(l)})$  (Иными словами, выполняется условие  $Q_\times(q^{(j)}; w) > Q_\times(q^{(l)}; w)$ ), то он же доминирует его и с позиций рассмотрения сводного показателя подвергнувшегося модернизации согласно (4.1.40), таким образом  $(Q_+^*(q^{(j)}; w) > Q_+^*(q^{(l)}; w))$ . В этом заключается существо преобразования мультипликативной формы сводного (интегрального) критерия качества ПК управления МКС к простой аддитивной форме, то есть путем изменения размерности элементарных показателей. Так, например, если элементарные показатели измеряются по шкале разностей, то произвольное значение  $q_i^{(0)}$  выбранного элементарного показателя  $q_i$  считается известным с точностью до соответствующего сдвига  $\beta_i \in R^1$ . Включение «сдвинутых» значений элементарных показателей по типу  $q_i^{(0)} + \beta_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , в математическое выражение аддитивной формы интегрального критерия качества (4.1.38), дает возможность признать тождественной ему формулу:

$$Q_+(q_1^{(0)} + \beta_1, \dots, q_m^{(0)} + \beta_m; w) = \sum_{i=1}^m w_i q_i^{(0)} + \sum_{i=1}^m w_i \beta_i = Q_+(q_1^{(0)}, \dots, q_m^{(0)}; w) + B.$$

На базе указанной формулы возможно прийти к заключению: при том, что элементарные показатели качества ПК управления МКС оценены на шкале разностей, то и сводный (интегральный) критерий качества с математической формой аддитивного характера рассчитывается на разностной шкале с строго определенным сдвигом  $B$ . При анализе качества по простейшим показателям  $q_1, \dots, q_m$  в соответствии со шкалами отношений, некоторое значение  $q_i^{(0)}$  простейшего показателя  $q_i$  определяется со значением точности до соответствующего растяжения (сжатия, понимаемого как отрицательное растяжение):  $\alpha_i \in R^1, \alpha_i > 0$ . Введение растянутых (сжатых) параметров  $\alpha_i q_i^{(0)}, i = 1, \dots, m$ , в математическое выражение мультипликативного критерия качества (4.1.26) дает возможность признать тождественной ему формулу:

$$Q_{\times}(\alpha_1 q_1^{(0)}, \dots, \alpha_m q_m^{(0)}; w) = \left( \prod_{i=1}^m \alpha_i^{w_i} \right) \times \left( \prod_{i=1}^m q_i^{w_i} \right) = A Q_{\times}(q_1^{(0)}, \dots, q_m^{(0)}; w). \quad (4.1.41)$$

На базе (4.1.28), возможно сделать заключение - при простейших показателях, проанализированных на шкале отношений, сводный (в том числе и интегральный) показатель качества ПК управления МКС с мультипликативной математической формой рассчитывается также на шкале отношений с растяжением (сжатием)  $A$ . Запрограммировать значение сдвига разностной шкалы, назначив начало, в виде выражения  $q_i = 0$ , а конец, в виде выражения  $q_i = 1$ , с нормированным отсчётом, существенно проще, чем реализовать обоснованное назначение коэффициента растяжения или сжатия соответствующей шкалы отношений. Именно этот факт есть основная причина предпочтительности агрегирующей функции аддитивного вида в рассматриваемой модели ДР-аномалии качества ПК управления МКС.

При каждом конкретном случае выявления ДР-аномалии качества ПК управления МКС особо необходимо исследовать факт адекватности принятого математического вида функции агрегирования элементарных показателей в сводные  $Q(q; w)$ ,  $q = (q_1, \dots, q_m)$ ,  $w = (w_1, \dots, w_m)$ , сообразно той импирической системе отношений, которые задают градации качества по элементарным показателям  $q_1, \dots, q_m$ , численные значения которых, экспертно

оцениваются на шкалах с размерностью, определяемой предметной областью показателя. Произвольный показатель  $q_i$  экспертно оценивается (неинструментально измеряется) с точностью до неубывающего преобразования  $\phi_i(q_i)$ ,  $i = 1, \dots, m$ . Следовательно, из последнего утверждения вытекает, что шкалы, по которым, в базовом варианте, непосредственно оцениваются простейшие показатели качества ПК управления МКС  $q = (q_1, \dots, q_m)$  в рамках ДР-модели рассматриваемого несоответствия по показателям качества, есть ординальные шкалы со строго определенным порядком  $\succ^i$ ,  $i = 1, \dots, m$  с линейным характером. Численное значение сводной оценки качества  $q$  рассчитывается на шкале порядка, определяемое строгим порядком  $\succ$ , вводимого для 2-х численных векторов  $q = (q_1, \dots, q_m)$  и  $q' = (q'_1, \dots, q'_m)$  соотношением

$$(q \succ q') \Leftrightarrow \left( \forall i (q_i \succ^i q'_i) \text{ или } (q_i = q'_i) \right) \text{ и } \left( \exists j: q_j \succ^j q'_j \right). \quad (4.1.42)$$

Соответственно, можно заключить, что применяемые в интересах синтеза сводных показателей функции агрегирования  $Q(q; w)$  есть функции монотонные, а значит имеет место инвариантность при упорядочивании альтернативных вариантов разработки ПК управления МКС в соответствии со значениями интегрального показателя  $Q(q; w)$  относительно к любой системе неубывающих преобразований  $\phi_i(q_i)$ ,  $i = 1, \dots, m$  вида

$$\begin{aligned} [Q(q_1, \dots, q_m; w) \geq Q(q'_1, \dots, q'_m; w)] \Leftrightarrow \\ [Q(\phi_1(q_1), \dots, \phi_m(q_m)) \geq Q(\phi_1(q'_1), \dots, \phi_m(q'_m))]. \end{aligned} \quad (4.1.43)$$

Т.е. преобразования  $\phi_i(q_i)$ ,  $i = 1, \dots, m$ , оставляющие без изменений отношения между градациями элементарных показателей допустимы в отношении к интегральному(сводному) показателю  $Q(q_1, \dots, q_m; w)$ . Эти преобразования оставляют неизменным нестрогое отношение порядка  $\geq$  между градациями в оценке качества ПК управления МКС. Именно это позволяет осуществить корректное шкалирование разнородных показателей качества ПК

управления МКС к единой ранговой (бальной) мере, а в конечном итоге, обеспечить сравнимость уровней развития качества по разным показателям.

Пример ДР- негативного несоответствия по показателям качества наглядно представим на гистограмме простейших показателей в профиле качества в виде выброса уровня оценок в область минимальных оценок, относительно осредненного уровня на единой ранговой (бальной) шкале. Такой пример схематически показан на рисунке 4.1.2.

К достоинствам модели ДР- несоответствия по показателям качества следует отнести её широкую применимость к различным аспектам разработки программного кода ПК управления МКС, создаваемого в различных технологических парадигмах.

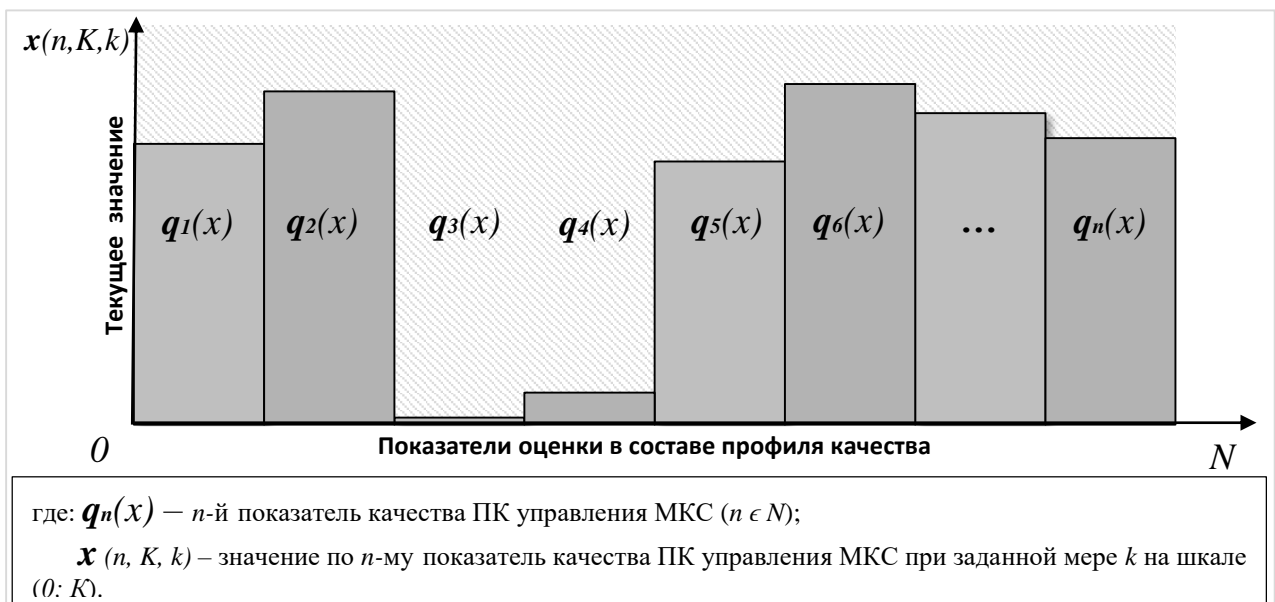


Рисунок 4.1.2. – Пример идентификации ДР-негативного несоответствия на профиле качества

#### 4.1.2.2.2. Модель ДРН-несоответствия по показателям качества

Модель ДРН- негативного несоответствия по показателям качества ПК управления МКС отличается от модели ДР-несоответствия по показателям качества тем, что значения оценок по показателям в профиле качества оценивания не только шкалируются применительно к единой ранговой мере, но и нормируются на один интервал, например  $[0;1]$  или  $(0;1]$ . В частности,

приложение разновидных шкал при оценке (нечисловом измерении) элементарных показателей ведет к нерелевантности исходных данных всего квалиметрического оценивания ПК управления МКС. Принятие во внимание факта указанной нерелевантности, оказывает влияние на процесс расчета индексов композиционной важности  $\{w_i\}$ , на которые возложен учет степени нерелевантности тех или иных квалиметрических исходных данных. Принимая искомым факт того, что начальные вектора оценочных значений по элементарным показателям  $x = (x_1, \dots, x_m)$  рассматриваемых вариантов разработки ПК управления МКС получены, и любой из них «измерен» по некоторой числовой шкале  $\phi_i(R^1)$ , строго определяемой неубывающим отображением  $\phi: R^1 \rightarrow R^1$ , то свертку любого сложного показателя  $Q$  правомерно рассматривать как проведение в жизнь таких 3 последовательных этапов исследования:

1. Вводятся функции нормировки:  $q_i(\phi_i(x_i))$ ,  $i = 1, \dots, m$ , отображающие входные численные значения элементарных показателей качества, изначально экспертно измеренные(оцененные) неприборным способом по шкалам выше указанных типов, в элементарные показатели  $q_i = q_i(\phi_i(x_i))$ ,  $q_i \in [0,1]$ ; что дает возможность репрезентировать сводное качество  $j$ -го варианта реализации ПК управления МКС, характеризуемого числовым вектором по всей совокупности элементарных показателей вида:

$$x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)}), j = 1, \dots, k, \quad (4.1.44)$$

где  $k$ - общее количество вариантов разработки ПК управления МКС, одновременно анализируемых при оценке качества;

как сводную (интегральную) оценку вида:

$$q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)}), q_i = q_i(\phi_i(x_i)), j = 1, \dots, k (q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})). \quad (4.1.45)$$

То есть, как числовой вектор нормированных параметров по соответствующим показателям  $q = (q_1, \dots, q_m)$ .

2. Синтезируется обобщенная форма функции агрегирования  $Q = Q(q) = Q(q_1, \dots, q_m)$ , путем уточнения отображения биективного характера  $Q: [0, 1]^m \rightarrow [0, 1]$  соответствующего  $m$ -мерного куба с единичной гранью  $[0, 1]^m \subset R^m$  на числовой отрезок с длиной  $[0, 1] \in R^1$ , удовлетворяющего правилу монотонности и граничным условиям. Функция агрегирования, в условиях нормировки значений по элементарным показателям качества, устанавливает в соответствие  $j$ -му варианту разработки ПК управления МКС, имеющему вектор числовых оценок  $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$  по всей гамме элементарных показателей качества, соответствующие сводные (интегральный) нормированные показатели  $Q(q^{(j)}) = Q(q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$ .

3. Функция агрегирования элементарных (более простых) показателей качества в сводные (более сложные)  $Q = Q(q; w)$ , формируемая с использованием числового вектора индексов композиционной важности  $w = (w_1, \dots, w_m), w_i \geq 0, w_1 + \dots + w_m = 1$  конкретизируется однозначно только при числовом назначении всех элементов указанного вектора  $w^{(0)} = (w_1^{(0)}, \dots, w_m^{(0)})$ . Т. е. тогда когда  $j$ -му варианту ПК управления МКС, характеризуемому оценкой  $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$  по всей гамме элементарных показателей качества, ставится в строгое и однозначное соответствие параметр  $Q^{(j)} = Q(q^{(j)}; w^{(0)})$  интегрального показателя  $Q(q; w^{(0)})$ .

В целях получения корректного значения сводной(интегральной) оценки ПК управления МКС, формально репрезентированного числовым вектором значений по всей гамме элементарных нормированных показателей качества  $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$ , необходимо задать:

- 1) семейство функций  $y_i = \phi_i(x_i), i = 1, \dots, m$ , которые непрерывны, не убывают и определяют шкалы для «неинструментального измерения» числовых значений по элементарным показателям качества;
- 2) семейство функций нормировки  $q_i = q_i(y_i) \in [0, 1], i = 1, \dots, m$ , отображающие начальные числовые значения неинструментального измерения в нормированные и систематизированные значения элементарных показателей;

3) функцию агрегирования для  $m$  элементов свертывания в интегральный нормированный показатель  $Q = Q(q) \in [0,1]$ ;

4)  $m$ -мерный числовой вектор индексов композиционной значимости для любого из узлов в системе показателей качества  $w = (w_1, \dots, w_m)$ , выступающих в роли компонент функции агрегирования  $Q = Q(q; w)$  более простых нормированных показателей качества ПК управления МКС в состав более сложных.

Факт определения (задания) описанной совокупности функциональных конструкций является фактом наличия возможности синтезировать итоговую форму интегрального нормированного критерия качества ПК управления МКС, в виде:

$$Q^{(j)} = Q(q^{(j)}; w) = Q(q(\phi(x^{(j)})); w) = Q(q_1(\phi_1(x_1^{(j)})), \dots, q_m(\phi_m(x_m^{(j)})); w) \quad (4.1.46)$$

на базе исходного полного вектора числовых значений по показателям из текущего профиля  $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$ .

Однако, в рамках технологической системы SCRUM, как правило, уточненная форма интегрального показателя конкретизируется, как выше указывалось, в условиях нерелевантности исходных данных всего квалиметрического оценивания ПК управления МКС. Такая нерелевантность заключается в том, что матсущности (4.1.44) – (4.1.46) представлены не строго, а с определенной точностью до подмножества. Такое представление принимает следующие формы:

1) про функционал  $y_i = \phi_i(x_i)$  установлен только факт принадлежности к классу некоторых функций  $\Phi_i = \{\phi_i^{(l)}(x_i), l \in L\}, i = 1, \dots, m$ ;

2) про функционал нормировки  $q_i = q_i(y_i) \in [0,1]$  установлен только факт принадлежности к классу функций  $\mathcal{Q}_i = \{q_i^{(r)}(y_i), r \in R\}, i = 1, \dots, m$ ;

3) про функционал агрегирования  $Q = Q(q) \in [0,1]$  установлен только факт принадлежности к классу определенных  $m$ -местных функций вида  $\mathcal{Q} = \{Q^{(s)}, s \in S\}$ ;

4) про вектор индексов композиционной значимости  $w = (w_1, \dots, w_m)$  установлен факт принадлежности соответствующему множеству числовых векторов  $\mathcal{W} = \{w^{(u)}, u \in U\}$ .

Нерелевантность указанного представления интегрального показателя ведет к случаю, для каждого варианта ПК управления МКС сопоставляется оценка качества, которая описана вектором значений сводных показателей  $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$ , т.е. каждому объекту оценки сопоставляется не одна интегральная оценка качества, а соответствующее семейство сводных оценок вида  $\mathcal{Q}_j = \{Q_j^{(t)}, t \in T\}$ . ДРН-несоответствие по показателям качества также легко идентифицируемо на гистограмме показателей в профиле качества ПК управления МКС, что показано на рисунке 4.1.3.

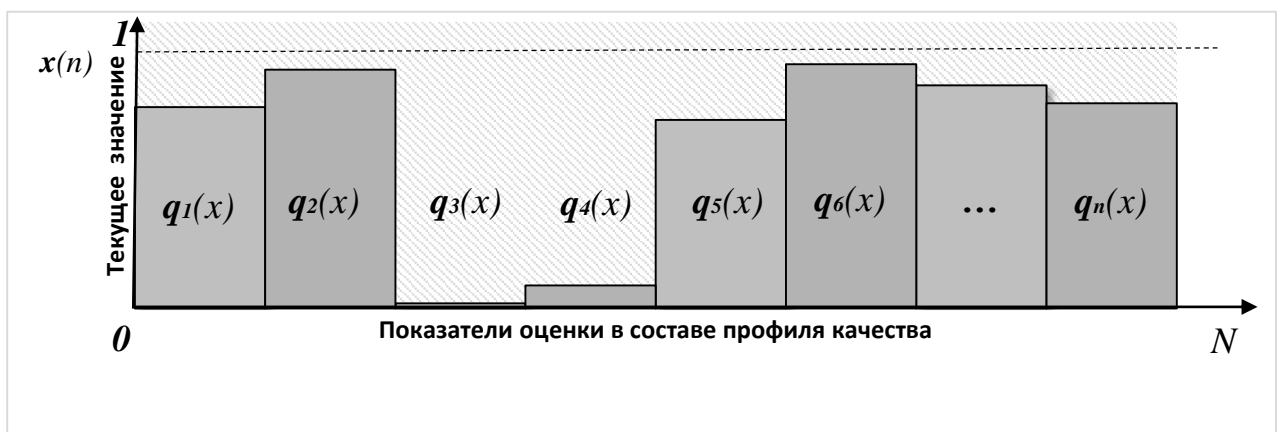


Рисунок 4.1.3. – Идентификация ДРН-несоответствия по показателям на профиле качества ПК управления МКС

4.1.2.3. Группа моделей негативных несоответствий по показателям качества на основе метрических шкал оценивания простейших показателей

#### 4.1.2.3.1. Модель ДМ-несоответствие по показателям качества

Модель негативных несоответствий по показателям качества, определяемых на метрических шкалах с детерминированной мерой различной физической природы, является достаточно узким классом несоответствий. Это определяется тем фактом, что, как правило, качество программного обеспечения оценивается показателями различной физической природы (Например:



«Количество строк кода» с мерой в единицах строк, «Вероятность безошибочной работы» с вероятностной мерой и пр.). Однако, при анализе качества реализации отдельных характеристик программных изделий, таких как ПК управления МКС, возможно выявление именно ДМ- негативных несоответствий по показателям качества на выделенных подсистемах вложенности показателей в составе общей системы показателей качества. Это свойственно подсистемам однородных показателей с единой мерой измерения. Такие однородные, в плане задания меры, подсистемы показателей в более сводных показателях, как правило, приводятся к ранговой (бальной) шкале для обеспечения представительности интегральной оценки качества программного обеспечения ПК управления МКС.

Форма интегрального нормированного критерия качества ПК управления МКС в рамках ДМ-модели несоответствия по показателям качества, в обобщённом плане, имеет вид (4.1.46). Однако, в условиях, когда возникает неопределенность из-за вопросов точности измерения значений элементарных показателей, т.е. когда по сути каждому элементарному показателю качества ПК управления МКС сопоставляется не одно, а множество значений  $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$ , то и сводному показателю сопоставляется соответствующее, функционально-связанное множество значений  $\mathcal{Q}_j = \{Q_j^{(t)}, t \in T\}$ . Этот факт вынуждает дооснастить вывод математического выражения (4.1.46) функционалом осреднения указанных множеств  $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$  и соответственно  $\mathcal{Q}_j = \{Q_j^{(t)}, t \in T\}$  к медианным значениям  $z$  принадлежащим области определения  $Z = \{x^{(\theta)}, \theta \in \Theta\}$ . Совокупность медианных значений для областей определения значений каждого элементарного показателя качества ПК управления МКС на профиле качества образует соответствующее множество оценок  $Z$ . Элементами этого множества являются конкретные, осредненные по своим областям определения, значения оценок элементарных показателей качества  $\tilde{z}$ , которые в зависимости от физического существа определения первичных значений  $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$  в алгебраическом смысле будут обладать свойствами  $z \in R^1$  или  $z \in R^m$ . Тогда конкретизированная

математическая форма интегрального критерия качества ПК управления МКС в рамках ДМ-модели негативного несоответствия по показателям качества примет вид:

$$\tilde{Q}^{(j)} = \tilde{Q}(\tilde{q}^{(j)}; \tilde{w}) = \tilde{Q}(\tilde{q}(\tilde{\phi}(x^{(j)})); \tilde{w}) = \tilde{Q}(\tilde{q}_1(\tilde{\phi}_1(x_1^{(j)})), \dots, \tilde{q}_m(\tilde{\phi}_m(x_m^{(j)})); \tilde{w}) \quad (4.1.47)$$

в варианте задания входной квалиметрической информации в виде числового вектора оценок элементарных показателей из профиля качества  $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$  для текущей версии ПК управления МКС.

Учитывая локальный характер непосредственного метрического учета значений параметров качества в системах показателей оценки качества ПК управления МКС, ДМ-несоответствие можно представить в профиле качества в виде единичного значения оценки очевидно относящейся к области минимальных оценок, относительно уровня однородных, с такой же мерой, смежных оценок, что показано на рисунке 4.1.4.

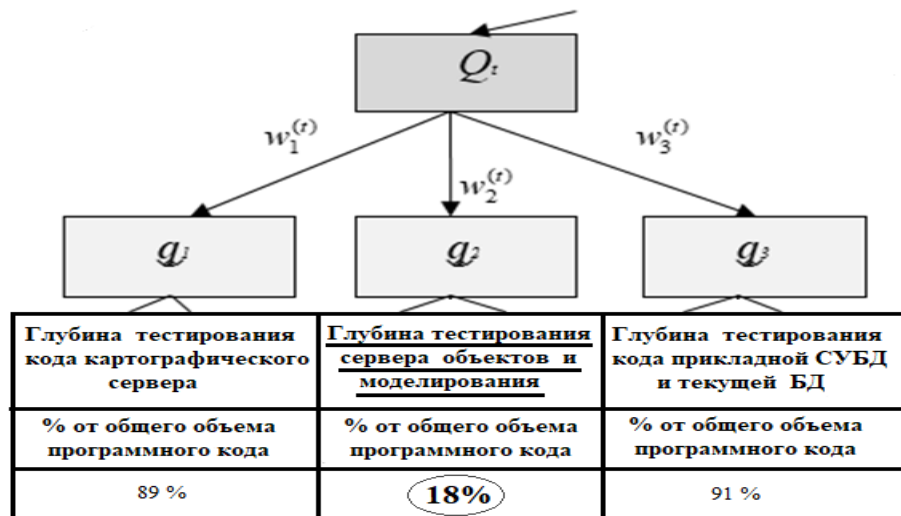


Рисунок 4.1.4. – Проявление ДМ-негативного несоответствия по показателям качества ПК управления МКС

#### 4.1.2.3.2. Модель ЛС-несоответствия по показателям качества

Логико-стохастические (ЛС) негативные несоответствия по показателям качества выявляются при использовании систем показателей оценки качества с

вероятностной мерой (Например: «Вероятность безотказного функционирования», «Вероятность наличия  $n$  ошибок в  $M$  строках кода» и пр.), которые используют общий логико-вероятностный метод для обобщения элементарных оценок в состав сводных и интегральной оценки качества ПК управления МКС.

Логико-стохастическое моделирование процедур оценки и анализа качества, оперирующих вероятностными значениями по соответствующим показателям, осуществляется с использованием общего логико-вероятностного метода, описанного в [51]. Такое моделирование предполагает следующие 4 основных этапа:

1. Логико-вероятностное представление системы вложенности показателей оценки качества ПК управления МКС при определении их значений на вероятностной алгебре.

Данный этап реализуется как последовательность 3 следующих подэтапов:

1.1. Описание системы вложенности показателей оценки качества ПК управления МКС как соответствующей схемы функциональной целостности в соответствии с алфавитом и методикой общего логико-вероятностного метода;

1.2. Назначение и предметная интерпретация интегрального или основного сводного показателя качества с вероятностной мерой, определение значений критериев для анализа достигнутого уровня качества по этим показателям;

1.3. Определение (выявление, апостериорная оценка, получение от внешних источников и пр.) стохастических оценок по элементарным показателям качества с вероятностной мерой, которые в дальнейшем сворачиваются в соответствующие значения сводных показателей;

2. Формирование логической функции агрегирования стохастических элементарных показателей в сводные (интегральный) показатель с вероятностной мерой:

$$Q_c = Q_c(\{q_i, \bar{q}_i\}, i = 1, 2, \dots, N) \quad (4.1.48)$$

где  $H$  – общее число показателей стохастической природы с вероятностной мерой в составе всей системы показателей. По существу, выражение (4.1.48) представляет собой математические формы интегральных критериев качества (4.1.45) - (4.1.47) представленные в логических операциях дизъюнкции и конъюнкции.

Функционально-логическими аналогами вершин в иерархической системе показателей оценки качества ПК управления МКС в логической функции агрегирования являются логические переменные  $\tilde{x}_i$ , а в вероятностном её представлении – вероятностные значения  $P_i$  стохастических показателей, характеризующих вероятности наступления случайных событий, определяющих качество функционирования ПК управления МКС (Например: вероятность сбоя, вероятность возникновения случайной функциональной ошибки, вероятность пропуска ошибки при тестировании кода и пр.).

Логические переменные  $\tilde{x}_i$  при формировании логической функции агрегирования стохастических элементарных показателей в сводные (интегральный) показатель связываются отношениями дизъюнкции и конъюнкции в соответствии со структурой иерархической системы показателей качества ПК управления МКС.

В результате данного этапа сложная, монотонная функциональная зависимость вида (4.1.48) становится строгим аналитическим описанием системы вложенности элементарных показателей в сводные и интегральный показатели качества ПК управления МКС в логических операциях конъюнкции и дизъюнкции над соответствующим значениями исходных квалиметрических оценок с вероятностной мерой.

3. Преобразование логической функции агрегирования стохастических элементарных показателей в расчетную вероятностную модель. На этом этапе логическая функция (4.1.48) преобразуется в расчетную вероятностную модель, позволяющую непосредственно выполнять расчеты значений сводных (интегрального) вероятностных показателей по формуле:

$$P_c = P_c(\{p_i, \bar{Q}_i, t\}, i = 1, 2, \dots, H) \quad (4.1.49)$$

где:

$p_i$  – вероятностные значения элементарных показателей качества ПК управления МКС стохастической природы;

$\bar{Q}_i$  – наименование сводного (интегрального) показателя качества ПК управления МКС стохастической природы;

$P_c$  – вероятностное значение сводного (интегрального) показателя качества ПК управления МКС стохастической природы;

$t$  - уровень рассматриваемого профиля качества в общей системе вложенности показателей качества ПК управления МКС.

По существу, выражение (4.1.49) представляет собой многочлен вероятностных функций, аналитически соответствующий логической функции агрегирования стохастических элементарных показателей в сводные (интегральный) показатель с вероятностной мерой (4.1.48). При этом логические операции дизъюнкции и конъюнкции заменяются соответствующими алгебраическими операциями сложения и умножения независимых вероятностей.

4. Непосредственный расчет значений сводных и интегрального стохастических показателей согласно формуле вида (4.1.49).

Преобразование (4.1.48) в (4.1.49) с точки зрения общего логико-вероятного метода [51] носит характер последовательных классификации и преобразований отношений (связей) в системе вложенности более простых показателей качества ПК управления МКС в состав более сложных. Классификация подразумевает разбиение всех отношений (связей) в системе вложенности более простых показателей качества ПК управления МКС в состав более сложных на связи дизъюнктивного и конъюнктивного характера, что соответствует классическому логико-вероятностному методу и описано в [51]. Существо указанной классификации нетрудно понять из рисунка 4.1.5.

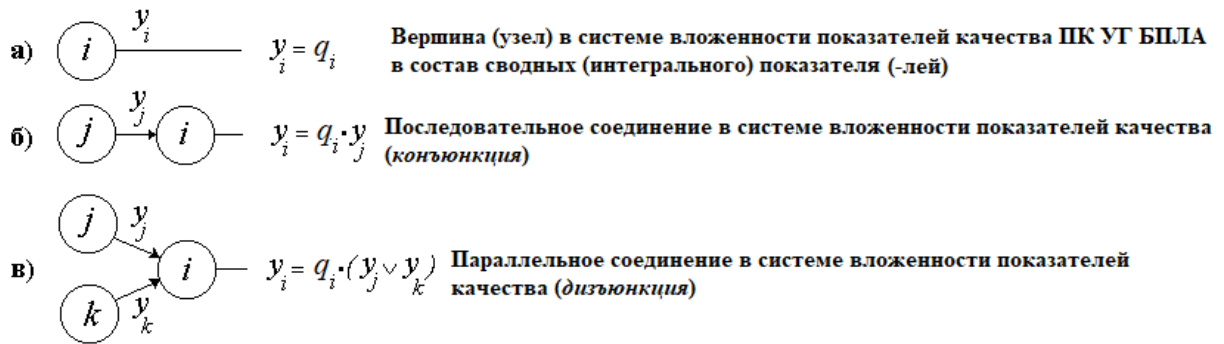


Рисунок 4.1.5. – Существо классификации вершин (узлов) в системе вложенности показателей качества ПК управления МКС

Преобразование дизъюнктивных отношений (связей) в формализованную форму (4.1.49) в системе вложенности более простых показателей качества ПК управления МКС в состав более сложных сводится к следующему:

А. Дизъюнктивные связи в системе вложенности более простых вероятностных показателей качества ПК управления МКС в состав более сложных предназначены для учета двух видов отношений:

а) Связи непосредственно показывающая вложенность показателя  $i$  в вышестоящий сводный показатель, присваивается логическая функция  $y_i$ . Это логическая функция вложенности вершины  $i$ , соответствующей показателю  $q_i$ , в структуре системы вложенности более простых показателей качества ПК управления МКС в состав более сложных. Такая функция  $y_i$  репрезентирует вероятностные условия принятия соответствующего значения показателем качества с номером  $i$  в рассматриваемой вложенности показателей.

б) Связь  $y_j$ , направленная из показателя  $j$  в показатель с номером  $i$ , задает 1 из множества принятия соответствующего значения показателем качества  $y_i$  этого элементарного показателя качества. Т.е. узел с номером  $j$  и направленная связь  $y_j$  есть обеспечивающие факторы принятия соответствующего значения показателем качества  $y_i$  с номером  $i$  в структуре вложенности показателей.

На рисунке 4.1.5.а) показана терминальный узел, соответствующий элементарному показателю качества ПК управления МКС. Принятие соответствующего значения показателем качества  $y_i$  определяется только

непосредственным не инструментальным измерением (оценкой) показателя  $q_i$ , что логически задается определяется выражением:

$$y_i = q_i \quad (4.1.50)$$

На рисунке 4.1.5. б) показан пример определения логической функции  $y_i$  для показателя качества с номером  $i$  некоторому принятию вложенным показателем  $y_j$  с номером  $j$  в структуре вложенности показателей:

$$y_i = q_i \cdot y_j \quad (4.1.51)$$

Соотношение (4.1.51) описывает последовательное соединение связей в структуре вложенности показателей, что в формульном виде описывается как логическое произведение (или конъюнкция) условий принятия соответствующих значений вложенными показателями качества в текущий показатель. При задании вероятностной меры установление отношения между показателями качества через логическую конъюнкцию есть случайное событие умножения (пересечения), т.е. одновременного принятия соответствующих значений всех, вложенных в данный сводный показатель качества более простых показателей вероятностной природы.

Б. На рисунке 4.1.5 в) показан пример отношений между показателями качества  $y_j$  и  $y_k$ , связанных в рамках структуры вложенности показателей качества ПК управления МКС дизъюнктивной логикой принятия соответствующих значений вложенными показателями качества в текущий показатель с номером  $i$  системе показателей

$$y_i = q_i \cdot (y_j \vee y_k) \quad (4.1.52)$$

Основной особенностью логических описаний структуры вложенности показателей качества ПК управления МКС дизъюнктивной логикой принятия соответствующих значений вложенными показателями качества в текущий показатель является связей показателей, которые по своему логической этимологии не могут быть репрезентированы дизъюнктивно, то есть только иерархической вложенностью показателей более простых в более сложные. Для аналитического описания таких структур вложенности показателей и введены

конъюнктивные связи, которые применяются в равной степени с дизъюнктивными связями. При этом, принято направленность таких связей на концах конъюнктивных ребер обозначать не стрелками, как у дизъюнктивных связей, а точками. Это говорит о том, что изменяются логические условия вложенности простейших показателей в композиционную интегральность показателей более сложных - логические связи становятся не дизъюнктивными (логический оператор "ИЛИ"), а конъюнктивными (логический оператор "И").

Основное предназначение конъюнктивных связей есть учет в структуре вложенности показателей качества отношений, требующих одновременной свертки вероятностных значений по нескольким параллельным показателям. Например, если установление значения логического функционала ( $y_i$ ) определяется сверткой значений логических функций  $y_j$  и  $y_k$  для 2-х различных показателей качества с номерами  $j$  и  $k$ , то такое значение описывается как:

$$y_i = q_i \cdot (y_j \cdot y_k) \quad (4.1.53)$$

Указанное соотношение (4.2.6) дает возможность аналитически представить условия параллельного (т.е. конъюнктивного) установления значений по более простым показателям качества ПК управления МКС.

Таким образом, применение соответствующих дизъюнктивных и конъюнктивных связей для описания структур вложенности показателей качества с вероятностной мерой позволяет строить многокортежные функции, описывающие сложные структуры вложенности показателей смешанного типа, т.е. когда свертка значений более простых показателей в состав более сложных показателей качества задается одновременно и дизъюнктивными, и конъюнктивными операциями. Существо такого аналитического описания показано на рисунке 4.1.6.



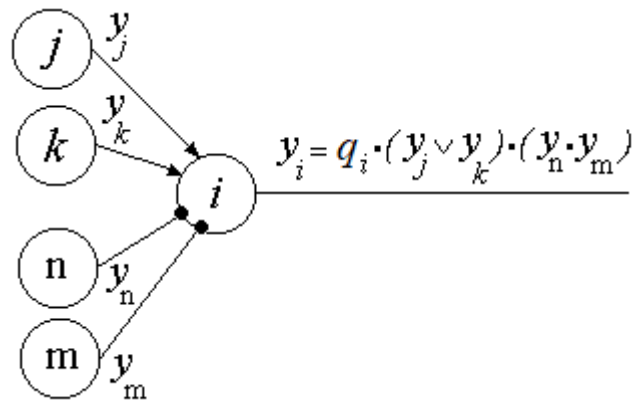


Рисунок 4.1.6. - Применение дизъюнктивных и конъюнктивных связей для описания структур вложенности показателей качества с вероятностной мерой

Как указывалось выше, на 3-м этапе оценки качества ПК управления МКС с вероятностной мерой производится преобразование логической функции агрегирования стохастических элементарных показателей в расчетную вероятностную модель. В обобщенном варианте, это преобразование заключается в переводе логического функционала вида (4.1.48) в последовательность алгебраических расчетов, описываемую многочленом с вероятностной мерой:

$$\{P_c = P_c(\{q_i, \bar{q}_i\}, i = 1, 2, \dots, H)\} \Rightarrow P_c(\{P_i, Q_i\}, i = 1, 2, \dots, H) . \quad (4.1.54)$$

В целях решения задачи расчета текущего значения интегрального (сводного) показателя качества с вероятностной мерой производится 2 вида последовательных преобразований логического функционала (4.1.48). Первоначально реализуется его ортогонализация по 1-й логической переменной, а далее проводится символьный переход к многочлену вероятностной функции (4.1.54). При принятии допущения о независимости значений всех элементарных показателей качества ПК управления МКС  $\tilde{x}_i, i=1, 2, \dots, H$  все пары не ортогональных конъюнкций исходного логического функционала вида (4.1.48) анализируются на возможность их ортогонализации в соответствии с правилом:

$$\gamma \cdot \tilde{x}_i \vee \gamma \cdot \phi = \gamma \cdot x_i \vee \gamma \cdot \phi \cdot \bar{\tilde{x}}_i, \quad (4.1.55)$$

где  $\gamma$  и  $\phi$  есть части двух конъюнкций исходного выражения свертки по показателям, в которых отсутствует значение  $\tilde{x}_i$ . Ортогонализирующее представление (4.1.55) не дает роста числа конъюнкций выражения свертки по показателям, что значительно сокращает размерность дальнейших преобразований. Символьный переход к многочлену с вероятностной мерой вида (4.1.54) осуществляется путем подстановки вероятностных значений элементарных показателей и подстановкой вместо конъюнкции соответствующего произведения, дизъюнкции - суммы, а инверсии - дополнения вероятностных значений  $\tilde{x}_i$ , вероятностными параметрами  $P_i, Q_i$  которые априори устанавливаются вычитанием искомого значения из 1. Иными словами, для получения расчетного вероятностного выражения свертки необходимо осуществить символьное преобразования логических переменных и операций в обозначения вероятностных переменных и арифметических операций в соответствии с принципами общего логико-вероятностного метода [51]. Тогда форма интегрального критерия оценки качества ПК управления МКС при задании значений показателей качества на шкалах с вероятностной мерой примет вид

$$Q_c = \sum_{j=1}^M P_c(q_j) \cdot E_j \quad (4.1.56)$$

где:  $P_c(q_j)$  есть многочлен вида (4.1.54), полученный для сводного показателя  $q_j$  с  $j$ -го уровня вложенности показателей;

$E_j$  - исходное значение вероятностных характеристик, определяемое для  $j$ -го уровня по значениям элементарных показателей.

Модель идентификации ЛС-несоответствия  $c'(q_j)$  в рамках описанной процедуры получения квалиметрических значений оценок по показателям качества с вероятностной мерой, сводимой к формированию логической формулы вида (4.1.48) и преобразованию ее в вероятностную форму (4.1.54) и критерий (4.1.56), есть выброс в значениях параметра  $y_{ij}$  в область отрицательных значений, что аналитически представимо как:

$$c'(q_j) = (\{y_{ij}\} \rightarrow 0). \tag{4.1.57}$$

Тогда обобщенно существо ЛС-негативного несоответствия по показателям качества представимо графически преобразованием, как показано на рисунке 4.1.7.

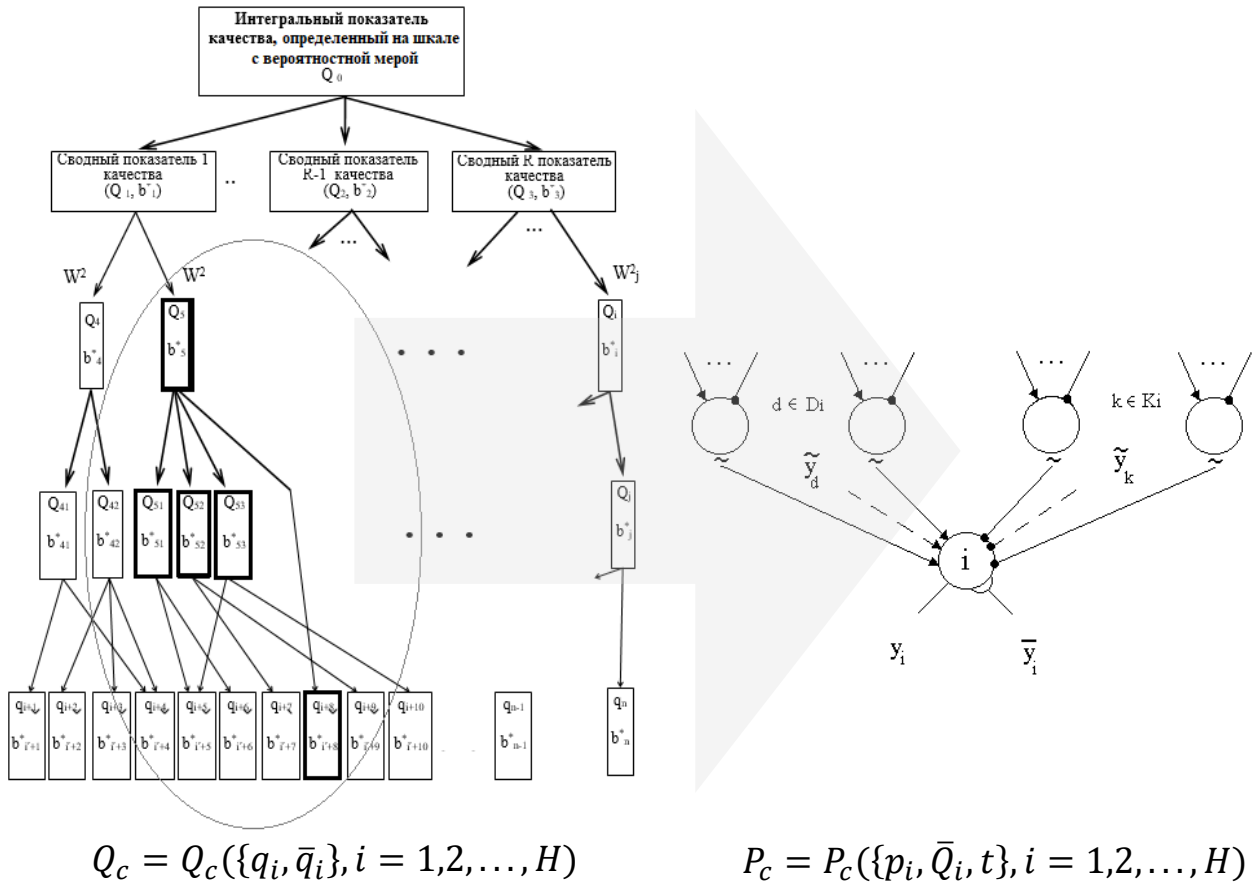


Рисунок 4.1.7. – Существо выявления ЛС- негативного несоответствия по показателям качества ПК управления МКС

Таким образом, резюмируя детализированное описание комплекса моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС, следует указать, что данный комплекс следует рассматривать совокупность логико-математических паттернов для автоматизированного распознавания соответствующих аномалий качества при разработке программного обеспечения указанных ПК. Входными параметрами применения той или иной модели негативного несоответствия по показателям качества могут выступать виды шкал, используемых для оценки качества, а также заданная на

них мера. Наличие соответствующего обобщенного паттерна позволит связать процесс выявления негативных несоответствий по показателям качества с процессом назначения планов (стратегий) совершенствования и улучшения качества текущей версии ПК управления МКС.

Описанные модели негативных несоответствий по показателям качества применяются по результатам проведения процедур оценки качества разрабатываемого ПК управления МКС, но в своей совокупности они носят самостоятельный методологический характер.

Комплекс логико-математических моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС является первым элементом совокупности методологических инструментариев улучшения качества указанных ПК. Проведение рекурсивной оценки качества ПК управления МКС и установление четких границ негативных несоответствий по показателям этого качества позволяет в рамках технологической системы SCRUM перейти к процедуре выбора соответствующей стратегии улучшения качества из соответствующего пула предварительно разработанных обобщенных альтернатив (общих планов мероприятий реагирования на соответствующие недостатки качества текущей версии ПК управления МКС, выявленные на предыдущих этапах технологического процесса разработки ПО).

## **4.2. Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами**

### **4.2.1. Постановка задачи ранжирования альтернативных стратегий улучшения**

Оценка и выявление аномалий качества ПК управления МКС не является самоцелью: технологическая система SCRUM предполагает, что результаты оценивания (в т.ч. выявление конкретных аномалий качества) являются основой для определения путей и приемов улучшения качества.

Очевидно, что выявление элементарных показателей качества, по которым наблюдается выброс значений в область минимумов, есть само по себе определение путей улучшения качества. То есть, те показатели, которые в данный момент имеют наиболее низкие значения являются индикаторами тех мероприятий, которые позволяют эффективно нарастить текущее качество ПК управления МКС: наращивая, прежде всего, качество по элементарным показателям, сочетающим низкие оценки с высоким влиянием на интегральный показатель, становится возможным нарастить значение интегрального показателя качества ПК управления МКС скорейшим образом. Условно такой вариант улучшения качества ПК управления МКС можно назвать простейшим. Однако, простейший вариант улучшения качества не является единственным и доминирующе-частым при проектировании и разработке ПК управления МКС: качество, в целом, может оказаться невысоким из-за невысоких значений оценок по всей гамме элементарных показателей, без явно выраженных аномалий. В таком случае необходима смена всей текущей парадигмы (общей процедуры) разработки ПК управления МКС, которую далее в работе автор рассматривает как стратегию улучшения качества указанного программного комплекса.

Стратегия улучшения качества ПУ управления МКС – это совокупность, увязанных по целям, методам и средствам реализации, мер и мероприятий по системному улучшению качества указанных ПК в ходе их разработки и программно-технологического совершенствования. Как правило, принятие к исполнению новой стратегии улучшения качества ПК управления МКС связано со сменой всей гаммы узко-прикладных приёмов и способов проектирования и

кодирования ПО. Существо понятия «стратегия улучшения качества ПК управления МКС» не трудно понять, проанализировав пример различных стратегий и составляющих их мероприятий (применительно к SCRUM), представленный в табл. 4.2.1.

Полный перечень возможных стратегий всегда формируется заблаговременно, в некотором обобщенном, базовом варианте. Столкнувшись в ходе разработки с фактом равномерного по всем показателям системного снижения (не повышения) качества ПК управления МКС, продукт-оунер и скрам-мастер прибегают к рассмотрению подмножества возможных стратегий улучшения качества, отнесенного из всего базис-множества стратегий к текущему этапу технологического процесса проектирования и создания ПО. Исходя из текущих, конкретизированных условий текущей разработки варианта ПК управления МКС они должны ранжировать указанный перечень возможных стратегий улучшения качества по степени их приоритетности в обеспечении эффективного роста этого качества, т.е. стратегии улучшения текущего качества ПК управления МКС необходимо ранжировать по степени их влияния на интегральный показатель качества указанных программных комплексов.

Уровень вклада значения той или иной стратегии улучшения на интегральный показатель качества можно выразить через соответствующие весовые коэффициенты влияния -  $\{\bar{w}_i, \bar{u}\}$ , которые рассчитываются в рамках формирования иерархических систем показателей прямого и обратного ранжирования, согласно методов аналитического планирования из [73]. При этом выделяют непосредственные весовые коэффициенты влияния -  $\{\bar{w}_i\}$ , т.е. отражающие уровень вклада текущего показателя в ближайший сводный для него показатель, и глобальные весовые коэффициенты влияния -  $\{\bar{u}_i\}$ , т.е. отражающие уровень вклада текущего показателя в интегральный показатель качества. В данном случае, очевидна аналогия весовых коэффициентов влияния с индексами композиционной важности из метода рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, однако математическая сущность и аппарат их расчета различны.

Таблица 4.2.1.- Вариант структурирования перечня стратегий системного улучшения качества ПК управления МКС

Название этапа в технологическом процессе разработки ПК управления МКС	Идентификатор стратегии улучшения текущего качества ПК управления МКС	Мероприятия (Принимаемые меры) реализуемые в рамках соответствующей стратегии	Индикаторы проявления	Ключевые участники реализации стратегии улучшения качества
1. Техническое (эскизно-техническое) проектирование	1.1. Базовая	1.Пересмотр постановки решаемой задачи; 2.Новое задание граничных условий, ресурсов; 3.Ревизия общей архитектуры ПК управления МКС; 4.Введение новых исполнителей в разработчики 5.Придание новых ресурсов разработки	Экономичность разработки, связность, целевая полезность, пр.	Продукт-оунер; Системный программист; Разработчик сервера моделирования.
	1.2. Повышенного внимания	...	...	...
	1.3. Экстремальная	...	...	...
2. Проектирование ПО, разработка рабочей конструкторской и программной документации	2.1. Основная	...	...	...
	2.2. Интенсивная	...	...	...
	2.3. Форсирующая	1.Перепрограммирование созданных компонент; 2.Смена основной среды и языка разработки; 3.Пересмотр логических связей меж серверами; 4.Замена СУБД, изменение модели данных; 5.Пересмотр системы классов и объектов кода; 6.Смена всей парадигмы проекта ПК управления МКС; 7. Отказ от неэффективных разработчиков кода; 8. Интенсификация темпов разработки.	Прикладное качество; уровень структурного совершенства кода, гибкость системная и пр.	Продукт-оунер; Скрам-мастер; Программист ресурсов; Системный программист; Разработчик БД; Специалист СУБД.
3. Непосредственная разработка (кодирование) ПО в рамках создания опытного образца	3.1. Типовая	...	...	...
	3.2. Ускоренная	...	...	...
	3.3. Эффективная	...	...	...
4. Проведение испытаний, комплексная стыковка и отладка, ввод в эксплуатацию	4.1. Базовая на испытаниях;	...	...	...
	4.2. Устранения ошибок недоработок;	...	...	...
	4.3. Сводная	...	...	...

По своей сути весовые коэффициенты влияния отражают агрегативный вес каждого из показателей или стратегий в композиции более сложного показателя, в то время как индексы композиционной важности из метода рекурсивной оценки качества ПК управления МКС есть мера степени объективности в оценивании.

Формирование иерархических систем показателей прямого и обратного ранжирования реализуется в соответствии с методологией аналитического планирования, описанной в [73]. На основании указанной методологии становится возможным осуществить расчет весовых коэффициентов влияния -  $\{\bar{w}_i, \bar{u}\}$ , которые выступают параметром ранжирования стратегий из базового перечня.

#### 4.2.2. Применение системных методов аналитического планирования для ранжирования стратегий

Процесс ранжирования в рамках предлагаемого метода рассматривается как совокупность двух взаимосвязанных подпроцессов: прямого и обратного ранжирования. Существо их взаимосвязи показано на рисунке 4.2.1, что аналогично подходам методологии аналитического планирования [73].

Первичным шагом в ранжировании стратегий улучшения качества является синтез системы прямого ранжирования для реализации соответствующего подпроцесса. Указанный синтез осуществляется путем присоединения к системе показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС справа двух дополнительных уровней:

- идентификаторов мероприятий или принимаемых мер  $\{E_q^K\}$  потенциально применяемых в рамках всего множества стратегий системного улучшения качества ПК управления МКС;

- перечень заранее разработанных обобщенных стратегий системного улучшения качества ПК управления МКС  $\{S_{ji}\}$  .



*ПРЯМОЙ ПОДПРОЦЕСС*



Рисунок 4.2.1. – Взаимосвязь подпроцессов прямого и обратного ранжирования в рамках единого процесса

Целью ранжирования является выявление текущей, наиболее рациональной стратегии системного улучшения  $S^V$  для которой верно:

$$S^V \in \{S_{j_i}\}_{j \in J^*, i \in I^*}, \quad (4.2.1)$$

где:  $I^*$  - номер цикла прямого и обратного ранжирования;  $J^*$  - общее количество заранее разработанных обобщенных стратегий системного улучшения качества ПК управления МКС, подлежащих ранжированию.

Существо процесса синтеза системы прямого ранжирования показано на рисунке 4.2.2.

Показателем для ранжирования в синтезированной системе прямого ранжирования должна выступать степень влияния стратегии улучшения, отдельного мероприятия или показателя качества на интегральный показатель «текущее качество ПК управления МКС», а мерой значения – весовые коэффициенты влияния  $\{\bar{w}_i, \bar{u}\}$ , существо которых указано выше. Коэффициенты влияния  $\{\bar{w}_i, \bar{u}\}$  должны рассчитываться следующим образом:

Для каждого узла вложенности системы прямого ранжирования строится числовая сетка, в которой:

1.) Принимается, что числовые значения коэффициентов  $\{\bar{w}_i\}$  назначаются для точности шага сетки  $h = 1/n$ , задаваемому по числу  $n > 1$  натурального ряда. Иначе говоря, коэффициенты  $\{\bar{w}_i\}$  являются только дискретными:

$$\bar{w}_i \in \bar{w}(n) = \left\{0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \dots, \frac{l}{n}, \dots, \frac{n-2}{n}, \frac{n-1}{n}, 1\right\} \quad (4.2.2)$$

Следовательно, сводное множество всех возможных числовых векторов непосредственных весовых коэффициентов влияния аналитически описывается как:

$$\bar{W}(m, n) = \{\bar{w}^{(t)} = (\bar{w}_1^{(t)}, \dots, \bar{w}_m^{(t)}), \bar{w}_i^{(t)} \in \bar{w}(n), \bar{w}_1^{(t)} + \dots + \bar{w}_m^{(t)} = 1, t \in T(m, n)\},$$

**А.** Система показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС

**Б.** Идентификаторы мероприятий, принимаемых мер по улучшению качества ПК управления МКС

**В.** Свод обобщенных стратегий системного улучшения качества ПК управления МКС

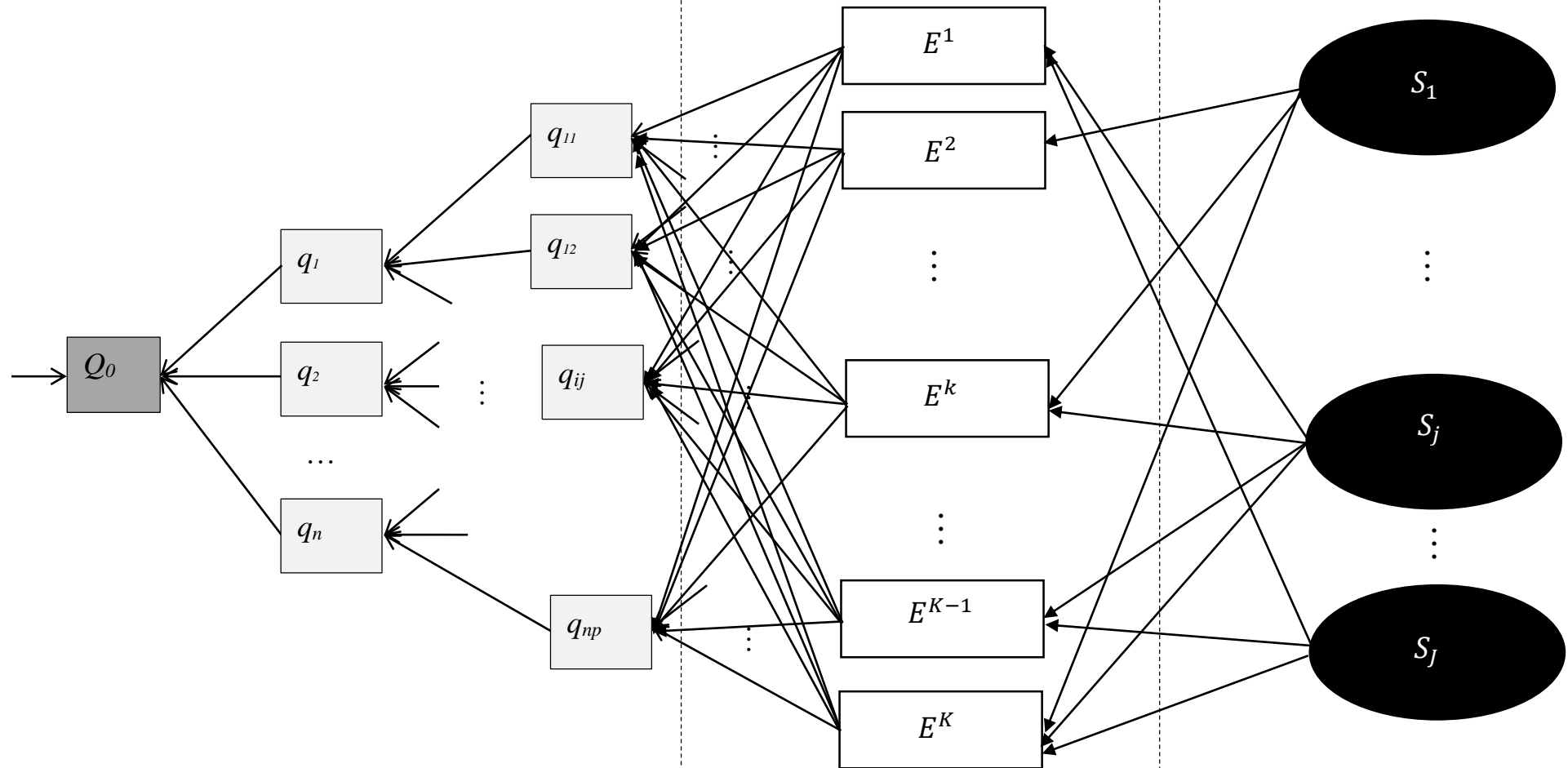


Рисунок 4.2.2. – Синтез системы прямого ранжирования стратегий улучшения качества ПК управления МКС

где  $T(m, n) = \{1, \dots, N(m, n)\}$  - совокупность значений индексирующего параметра  $t$ , которая является конечным множеством, обобщающим количество указанных числовых векторов  $N(m, n)$ , рассчитываемое как:

$$N(m, n) = \binom{n+m-1}{n} = \binom{n+m-1}{m-1} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!}. \quad (4.2.3)$$

2.) Учитывая возникающую неопределенность принятия того или иного числового вектора непосредственных весовых коэффициентов в  $\bar{W}^{(t)}$  из множества всех возможных числовых векторов непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\bar{W}(m, n)$  на базисной основе выбора случайного индекса  $\tilde{t}$ , равномерно и системно заданного на соответствующем множестве  $T(m, n) = \{1, \dots, N(m, n)\}$ :

$$P(\{\tilde{t} = t\}) = \frac{1}{N(m, n)}, \quad t \in N(m, n) = \{1, \dots, N(m, n)\}, \quad (4.2.4)$$

объективно возможным становится расчет осредняющего нормированного числового вектора, рассматриваемого в дальнейшем как вектор непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\tilde{W} = (\tilde{W}_1, \dots, \tilde{W}_m)$ , редуцированный по базисному основанию  $\tilde{t}$  :

$$\tilde{W} = (\tilde{W}_1, \dots, \tilde{W}_m) = \bar{W}^{(\tilde{t})} = (\bar{W}_1^{(\tilde{t})}, \dots, \bar{W}_m^{(\tilde{t})}). \quad (4.2.5)$$

Полученный вышеуказанным способом числовой вектор непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{W}_i\}$  равномерно распределен на сводном множестве всех возможных числовых нормированных векторов  $\bar{W}(m, n)$ . В свою очередь это позволяет осуществить расчёт соответствующего математического ожидания  $\bar{w}_i = M \tilde{w}_i$  и соответствующего среднеквадратического отклонения  $s_i = \sqrt{D \tilde{w}_i}$  (при этом  $D \tilde{w}_i$  есть дисперсия такой случайной величины как  $\tilde{w}_i$ )  $i$ -го непосредственного коэффициента влияния:

$$\bar{w}_i = M \tilde{w}_i = \frac{1}{N(m, n)} \sum_{t=1}^{N(m, n)} w_i^{(t)} = \frac{1}{m}, \quad (4.2.6)$$

$$s_i = \sqrt{D \tilde{w}_i} = \sqrt{\frac{1}{N(m, n)} \sum_{t=1}^{N(m, n)} [w_i^{(t)} - \bar{w}_i]^2} = \sqrt{\frac{m-1}{m^2(m+1)} + \frac{1}{n} \frac{m-1}{m(m+1)}}. \quad (4.2.7)$$

3.) Естественно то, что равномерно взвешенный вариант (4.2.6) в расчете непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  есть крайнее обобщение. В реальной, практической квалиметрии констатируется объективное отличие непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  между собой в силу различного влияния исходных параметров на интегральный и сводные показатели качества ПК управления МКС. В разработанном методе такое отличие выявляется посредством численной обработки исходных экспертных данных о влиянии соответствующих простейших показателей качества, стратегий или отдельных мероприятий по улучшению качества на сводные и интегральный показатели качества ПК управления МКС. Количественно (аналитически) такие данные репрезентируются как алгебраические системы неравенств и равенств, по типу:

$$OI = \{\bar{w}_r > \bar{w}_s; \bar{w}_u = \bar{w}_v, \dots\} \quad (4.2.8)$$

для учета при синтезе числового вектора непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\bar{w} = (\bar{w}_1, \dots, \bar{w}_m)$ ,  $\bar{w}_i \geq 0$ ,  $\bar{w}_1 + \dots + \bar{w}_m = 1$ , обозначающих как влияние показателей  $q_1, \dots, q_m$ ,  $q_i \in [0,1]$  на сводные и интегральный показатели качества ПК управления МКС, так и представленных в системе прямого ранжирования стратегий и мероприятий улучшения качества при  $m$  учитываемых различных позиций. Помимо исходных аналитических данных по влиянию на сводные и интегральный показатели качества в рамках системы прямого ранжирования вида (4.2.8) в роли исходных аналитических данных могут применяться ориентировочные данные экспертов о численных соотношениях тех или иных весовых коэффициентов влияния, что в формализованном виде представимо как система неравенств :

$$II = \{a_i \leq \bar{w}_i \leq b_i, i \in \{1, \dots, m\}\} \quad (4.2.9)$$

описывающая диапазон  $[a_i, b_i]$ ,  $i \in \{1, \dots, m\}$  изменений весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$ , в условиях  $0 \leq a_i \leq b_i \leq 1$ . Это значит, что

данные, математически представляемые неравенствами согласно (4.2.9) есть интервальные данные.

Алгебраические интервалы, выявляемые по интервальным данным  $II$  согласно (4.2.9), традиционно могут быть конкретизированы посредством нормирующего оператора  $\bar{w}_1 + \dots + \bar{w}_m = 1$ . Иными словами, если принять во внимание неравенства  $0 \leq a_i \leq \bar{w}_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , и  $a_1 + \dots + a_m = a \leq 1$ , ограничивающие численные значения весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  снизу, то их возможно обобщить как сводное выражение:

$$\bar{w}_i = 1 - \sum_{k=1}^{i-1} \bar{w}_k - \sum_{l=i+1}^m \bar{w}_l \leq 1 - \sum_{k=1}^{i-1} a_k - \sum_{l=i+1}^m a_l = 1 + a_i - \sum_{k=1}^m a_k = a_i + (1 - a), \quad (4.2.10)$$

замыкающее эти численные значения весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  сверху. В свою очередь, при непосредственном принятии во внимание неравенств  $w_i \leq b_i \leq 1$ ,  $i = 1, \dots, m$ ,  $b_1 + \dots + b_m = b \geq 1$ , ограничивающих численные значения весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  сверху, можно вывести сводное неравенство

$$\bar{w}_i = 1 - \sum_{k=1}^{i-1} w_k - \sum_{l=i+1}^m w_l \geq 1 - \sum_{k=1}^{i-1} b_k - \sum_{l=i+1}^m b_l = 1 + b_i - \sum_{k=1}^m b_k = b_i - (b - 1), \quad (4.2.11)$$

ограничивающее численные значения весовых коэффициентов влияния снизу.

Таким образом, выяснение исходных экспертных данных в интервальном виде  $II = \{a_i \leq w_i \leq b_i, i \in \{1, \dots, m\}\}$  как представлено (4.2.9) определяет возможность задать сводную систему нормированных неравенств:

$$II = \{\max\{a_i, b_i - (b - 1)\} \leq w_i \leq \min\{b_i, a_i + (1 - a)\}, i \in \{1, \dots, m\}\},$$

репрезентирующую интервалы изменений численных значений весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{\bar{w}}_i\}$ .

4.) Сужение интервалов изменений численных значений весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{\bar{w}}_i\}$  в рамках предлагаемого метода также достигается сопоставлением данных  $II$  с  $OI$  :

$$I = OI \cup II. \quad (4.2.12)$$

Эксплицируя выражение (4.2.12) на (4.2.5) можно записать следующее логико-алгебраическое обобщение:

$$\bar{\bar{W}}(m, n; I) = \left\{ \bar{\bar{w}}^{(t)} = (\bar{\bar{w}}_1^{(t)}, \dots, \bar{\bar{w}}_m^{(t)}) : \bar{\bar{w}}^{(t)} \in \bar{\bar{W}}(m, n), t \in T(m, n; I) \right\}. \quad (4.2.13)$$

Обобщающее выражение (4.2.13) описывает числовые вектора значений весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{\bar{w}}_i\}$ , включённых в подмножество  $\bar{\bar{W}}(m, n)$  векторов, отвечающих всем неравенствам и равенствам из  $I$  согласно (4.2.12). Необходимо также учитывать, что подмножество  $T(m, n; I)$  это семейство перенумерованных значений параметра  $t$ :  $T(m, n; I) = \{1, \dots, N(m, n; I)\}$ , а это означает, что  $\bar{\bar{W}}(m, n; I)$  есть подмножество всех допускаемых численных векторов значений весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{\bar{w}}_i\}$ . Тогда становится возможным констатировать тождество: семейство всех допускаемых численных векторов значений весовых коэффициентов влияния  $\bar{\bar{W}}(m, n; I)$  является подмножеством множества всех возможных численных векторов значений весовых коэффициентов влияния  $\bar{\bar{W}}(m, n)$ . Приведенные выше 2 множества полностью совпадают с точностью до каждого значения при отсутствии каких-либо исходных ограничений  $I$  на значения весовых коэффициентов влияния, т.е. при  $I = \emptyset$ , что математически записывается как

$$\bar{\bar{W}}(m, n; \emptyset) = \bar{\bar{W}}(m, n). \quad (4.2.14)$$

Выражение (4.2.14) в свою очередь означает, что правомочны соотношения  $\bar{\bar{W}}(m, n; I) \subseteq \bar{\bar{W}}(m, n)$  и  $N(m, n; I) \leq N(m, n)$  , а также фабула: исходные

данные  $I$  в формализованном виде включают в свой состав хотя бы 1 непустое равенство или неравенство, то правомочно:  $\bar{W}(m, n; I) \subset \bar{W}(m, n)$  и  $N(m, n; I) < N(m, n)$ . Именно это позволяет значительно снизить число допустимых численных векторов значений весовых коэффициентов влияния  $N(m, n; I)$  по сравнению с соответствующим начальным числом возможных векторов значений весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$ .

5.) Нечеткость (неточность) в расчете численного вектора значений весовых коэффициентов влияния  $\bar{w} = (\bar{w}_1, \dots, \bar{w}_m)$  на базе семейства допустимых векторов  $\bar{W}(m, n; I)$  преодолевается путем учета этой нечеткости средствами теории вероятности и математической статистики. В итоговом результате указанного учета рассчитывается численный вектор значений весовых коэффициентов влияния  $\tilde{w}(I) = (\tilde{w}_1(I), \dots, \tilde{w}_m(I))$ , представляемый как дискретная случайная величина, имеющая равномерное распределение на  $\bar{W}(m, n; I)$ , то есть математическое ожидание  $\bar{w}_i(I) = M \tilde{w}_i(I)$  и среднеквадратическое отклонение  $\bar{s}_i = \sqrt{D \tilde{w}_i(I)}$ , при дисперсии  $D \tilde{w}_i(I)$  для  $i$ -ого весового коэффициента влияния  $\tilde{w}_i(I)$ :

$$\bar{w}_i(I) = M \tilde{w}_i(I) = \frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} w_i^{(t)}, \quad (4.2.15)$$

$$\bar{s}_i(I) = \sqrt{D \tilde{w}_i(I)} = \sqrt{\frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} [w_i^{(t)} - \bar{w}_i(I)]^2}. \quad (4.2.16)$$

Описанный выше математический аппарат расчета непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  в узлах вложенности системы прямого ранжирования следует далее пояснить примером для узла с тремя компонентами вложенности, т.е.  $m = 3$ . В данном случае непосредственные весовые коэффициенты влияния  $\bar{w}_1, \bar{w}_2, \bar{w}_3$  определяются по исходной числовой сетке, заданной с шагом  $h = 1/5 = 0.2$ , т.е.  $n = 5$ . Иными словами, исходная численная сетка  $\bar{W}(3, 5)$  всех исходных векторов коэффициентов  $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, w_2^{(t)}, w_3^{(t)})$  состоит из  $N(3, 5) = 21$  строки, что показано на рисунке 4.2.3.

а). Пусть на основании экспертизы получены данные:



$$I_1 = \{w_1 > w_2; w_3 \leq 0.2\} \quad , \quad (4.2.17)$$

которые позволяют свести исходную числовую сетку к множеству допустимых численных(цифровых) векторов  $W(m, n; I_1) = W(3, 5; I_1)$  непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\bar{w}^{(t)} = (\bar{w}_1^{(t)}, \bar{w}_2^{(t)}, \bar{w}_3^{(t)})$ , отвечающих условиям (4.2.17). Также на рисунке 4.2.3. а) показан процесс прореживания исходной числовой сетки от числовых векторов, не отвечающих условиям (4.2.17). На рисунке 4.2.3. б) показано, что оставшиеся после прореживания числовые вектора суммируются покомпонентно и нормируются, в результате чего получается ранжирующий числовой вектор, состоящий из непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$ . На рисунке 4.2.3. в) показано, как осуществляется оценка уровня точности расчета непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  согласно формулам (4.2.15) и (4.2.16).

Таким образом, представленный выше математический аппарат расчета непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  в узлах вложенности системы прямого ранжирования позволяет численно устанавливать степень влияния всех нижестоящих элементов указанной системы на интегральный показатель качества ПК управления МКС.

Глобальные весовые коэффициенты влияния  $\{\bar{u}_i\}$ , отражающие уровень вклада текущего показателя в интегральный показатель качества ПК управления МКС, рассчитываются путем последовательного перемножения непосредственных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  при логическом движении по соответствующей грани системы прямого ранжирования:

$$\bar{u}_{j_i j_m} = \prod_{s=i}^{m-1} \bar{w}_{j_s} \bar{w}_{j_{s+1}}, \quad (4.2.18)$$

где:  $\bar{u}_{j_i j_m}$  - глобальный весовой коэффициент влияния показателя качества  $q_{j_i}$  в сводном показателе  $q_{j_m}$  в системе прямого ранжирования;  $\bar{w}_{j_s}, \bar{w}_{j_{s+1}}$  - непосредственные весовые коэффициенты влияния, соответствующие индексам показателей, стоящих в вершинах соответствующей грани системы прямого ранжирования;  $i, m$  - уровни системы прямого ранжирования, между которыми определена степень влияния на сводный (интегральный) показатель.

а.) Исходная сетка  
и её прореживание

1	0,0	0,0	1,0
2	0,0	0,2	0,8
3	0,0	0,4	0,6
4	0,0	0,6	0,4
5	0,0	0,8	0,2
6	0,0	1,0	0,0
7	0,2	0,0	0,8
8	0,2	0,2	0,6
9	0,2	0,4	0,4
10	0,2	0,6	0,2
11	0,2	0,8	0,0
12	0,4	0,0	0,6
13	0,4	0,2	0,4
14	0,4	0,4	0,2
15	0,4	0,6	0,0
16	0,6	0,0	0,4
17	0,6	0,2	0,2
18	0,6	0,4	0,0
19	0,8	0,0	0,2
20	0,8	0,2	0,0
21	1,0	0,0	0,0

б.) Нормировка и  
расчет коэффициентов

0,6	0,2	0,2
0,6	0,4	0,0
0,8	0,0	0,2
0,8	0,2	0,0
1,0	0,0	0,0
<u>3,8</u>	<u>0,8</u>	<u>0,4</u>
: 5		
0,76	0,16	0,08



в.) Оценка уровня  
точности

$i$	$\bar{w}_i(I_1)$	$s_i(I_1)$
1	<b>0,76</b>	0,15
2	<b>0,16</b>	0,15
3	<b>0,08</b>	0,09

Рисунок 4.2.3. – Расчет непосредственных весовых коэффициентов влияния в узлах вложенности системы прямого ранжирования (пример)

Для реализации подпроцесса обратного ранжирования синтезируется соответствующая система ранжирования. Такой синтез осуществляется путем присоединения справа к идентификатору стратегии  $S^V$ , выбранной первоначально при ближайшей итерации прямого ранжирования, идентификаторов всех участников реализации этой стратегии – соответствующих ролей из команды разработчиков, а также уровня с перечислением полного (м.б. избыточного) множества идентификаторов мероприятий или принимаемых мер  $\{E_q^P\}$ , применяемых соответствующими разработчиками при улучшении качества ПК управления МКС. Именно реализуемость того или иного мероприятия соответствующим разработчиком в составе технологической системы SCRUM и определяет структуру логических связей в системе обратного ранжирования. Существо описанного синтеза системы обратного ранжирования показана на рисунке 4.2.4.

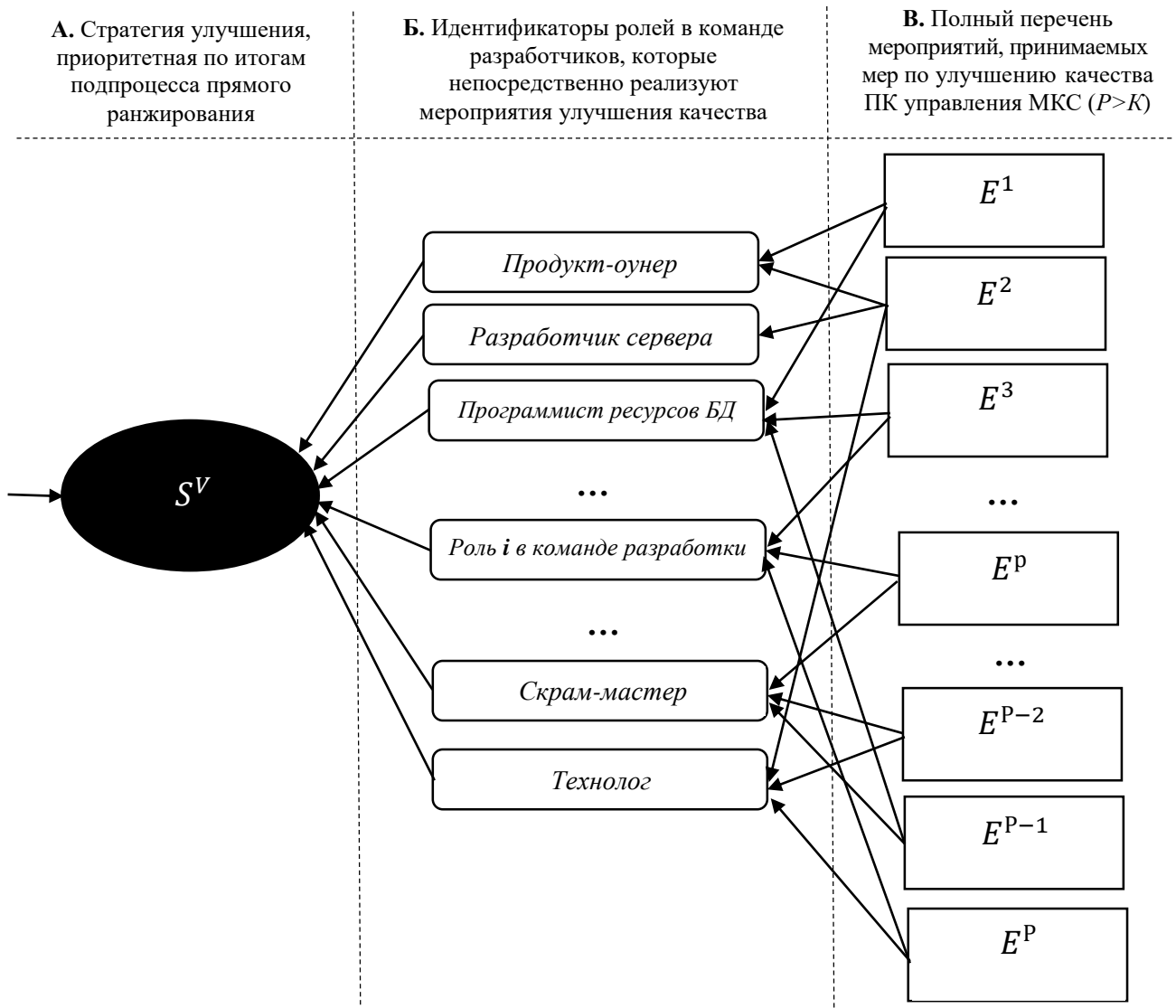


Рисунок 4.2.4. –Синтез системы обратного ранжирования стратегий улучшения качества ПК управления МКС

Логическая система обратного ранжирования стратегий улучшения качества ПК управления МКС, ориентирована на учет специфики и возможностей конкретной команды исполнителей (SCRUM-команды разработчиков). При этом, согласно, принятым за основу в текущем исследовании, канонам аналитического планирования [73], в данном случае учитываются конкретизированные возможности субъектов, исполняющих соответствующие роли в рамках команды разработчиков (Например: продукт-оунер, скрам-мастер, инженер-программист сервера задач, программист информационных ресурсов, программист-кодировщик и пр.). По существу, именно в ходе обратного ранжирования осуществляется «адаптация» стратегий

улучшения качества, разработанных изначально в обобщенном виде, применительно к возможностям текущей команды разработчиков и особенностям данного (т.е. конкретного) проекта разработки ПК управления МКС. При этом предполагается, что логическая система обратного ранжирования взвешивается аналогично системе прямого ранжирования.

#### 4.2.3. Последовательность этапов ранжирования стратегий улучшения качества

Ранжирование стратегий улучшения качества ПК управления МКС осуществляется в следующей итеративной последовательности подпроцессов прямого и обратного ранжирования:

1. Взаимосвязь подпроцессов прямого и обратного ранжирования стратегий системного улучшения текущего качества ПК управления МКС в рамках единого процесса, показанная на рисунке 4.2.1., позволяет за конечное число итеративно повторяемых этапов упорядочить исходное множество стратегий (структурированный исходный перечень стратегий улучшения качества, как он показан в таблице 4.2.1.) по уровню их влияния (воздействия к улучшению) на сводные и интегральный показатели качества ПК управления МКС. При этом принимается, что ранжирование (упорядочивание) осуществляется по значениям глобальных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{u}_i\}$ , отражающих указанное влияние.

2. В рамках системы прямого ранжирования стратегий улучшения качества ПК управления МКС производится первый расчет значений глобальных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{u}_i\}$  для текущего набора стратегий улучшения качества  $\{S_{ji}\}$ . Нормированные значения указанных коэффициентов влияния  $\{\bar{u}_i\}$  задают приоритетность в принятии к исполнению текущего множества стратегий улучшения качества  $\{S_{ji}\}$ : стратегия улучшения качества  $S_j$  с наибольшим значением коэффициента влияния признается наиболее приоритетной стратегией  $S^V$ , к реализации по итогам первого расчета в системе прямого ранжирования. При незначительном, т.е. не превышающем

погрешности математического аппарата расчета коэффициентов влияния -  $\{\bar{w}_i, \bar{u}\}$ , различии полученных значений соответствующих глобальных коэффициентов влияния у 2-х и более стратегий, возможно комбинирование мероприятий и мер, реализуемых в этих стратегиях, в рамках единой субстратегии улучшения качества ПК управления МКС.

3. Выявленная по итогам первого расчета в системе прямого ранжирования приоритетная стратегии  $S^V$  или указанная выше субстратегия далее анализируется на предмет эффективности её реализации текущим, конкретным составом SCRUM-команды разработчиков. Т.е. осуществляется учет индивидуальных особенностей текущего коллектива разработчиков ПК, их слабых и сильных сторон. Такой учет есть существо обратного ранжирования стратегий улучшения качества ПК управления МКС, реализуемого в логической системе, показанной на рисунке 4.2.4. В ней также рассчитываются значения глобальных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{u}_i\}$  для текущего полного (м.б. избыточного) набора идентификаторов мероприятий или принимаемых мер  $\{E^P_q\}$ , применяемых соответствующими разработчиками при улучшении качества ПК управления МКС. При этом анализируется влияние мероприятий или принимаемых мер  $\{E^P_q\}$  на наиболее приоритетную стратегию  $S^V$ , выбранную по итогам первого расчета в системе прямого ранжирования.

4. В соответствии с логико-алгоритмическим аппаратом аналитического планирования из [73], произведя расчет значений глобальных весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{u}_i\}$  на стратегию  $S^V$  для идентификаторов мероприятий или принимаемых мер  $\{E^P_q\}$  в рамках подпроцесса обратного ранжирования, становится возможным выбрать мероприятия  $E^P$  с наибольшими значениями коэффициентов влияния. Они вводятся в последовательность мероприятий и мер улучшения качества  $\{E^K_q\}$  учитываемых при втором расчете в системе прямого ранжирования.

5. На следующем этапе производится вторая итерация прямого ранжирования текущего множества стратегий улучшения качества  $\{S_{ji}\}$ , но с

учетом откорректированного подмножества мероприятий и мер улучшения качества  $\{E_q^K\}$  по итогам обратного ранжирования. Если значение глобального весового коэффициента влияния для стратегии улучшения качества  $S^V$ , отобранной по результатам первой итерации ранжирования, в результате второй итерации прямого ранжирования не изменилось или увеличилось, то весь процесс ранжирования признается сходящимся к стратегии  $S^V$  и получаемому числовому вектору параметров  $\{\bar{u}_i\}$  ранжирования стратегий из базового перечня. Этот числовой вектор отражает приоритетность выбора стратегий из их текущего перечня.

6. Если значение глобального весового коэффициента влияния для стратегии улучшения качества  $S^V$ , отобранной по результатам первой итерации ранжирования, в результате второй итерации прямого ранжирования уменьшилось, то вся задача системного улучшения качества ПК управления МКС требует переформулирования с целью более детальной настройки логических систем прямого и обратного ранжирования, а также дальнейшего проведения итераций указанного ранжирования.

Таким образом, предложенный логико-алгоритмический аппарат метода ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС за конечное число этапов прямого и обратного ранжирования позволяет строго упорядочить исходное множество альтернативных стратегий системного улучшения качества ПК управления МКС по приоритетности их влияния на систему сводных и интегральных показателей качества указанных программных комплексов в ходе их разработки и создания. Именно этот факт составляет существо предлагаемого метода.

### **4.3. Метод управления экономичностью проекта разработки программных комплексов управления мультикомпонентными системами**

#### **4.3.1. Экономичность проекта как производная уровня итеративности в разработке ПК управления МКС**

Экономичность проекта разработки ПК управления МКС является базовой составляющей результативности указанного процесса разработки, согласно [64,89]. Экономичность разработки программного комплекса заключается в обоснованной минимизации трудозатрат на указанную разработку при обеспечении в реализации всей полноты заданной функциональности и требуемого уровня безошибочности функционирования (глубины тестирования и отладки). В рамках технологической системы SCRUM мерой указанного объема трудозатрат является итеративность технологического процесса разработки, а именно количество спринтов разработки, выполняемых при данной функциональности ПО для достижения заданного уровня безошибочности. В свою очередь, управление экономичностью – это процесс обоснованного выбора количества спринтов разработки ПО с данным объемом прикладных функций, которое обеспечит требуемо-низкий уровень возможности возникновения ошибки или сбоя в работе разрабатываемого ПК.

Целью управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС является решение задачи избегания излишних (необоснованных текущим состоянием разработки, «перестраховочных», неэффективных и пр.) спринтов при разработке ПО в технологической системе SCRUM при обязательном выполнении условия полноты реализации спроектированной функциональности. В рамках данного диссертационного исследования указанная цель была рассмотрена как цель управления рисками необоснованности и неэффективности затрат в процессе реализации проекта разработки сложных программных изделий. При этом не следует приведенные риски путать с риском для полноценной реализации проекта разработки ПК.

В частности, было учтено, что современный риск-менеджмент, в целом, согласно [39,40,52,123], выражает риск количественно как:

$$R = py, \quad (4.3.1)$$

где:  $R$  – риск, как параметр, не предусматривающий определения для него физической размерности;

$p$  – вероятность наступления избегаемых (плохих) последствий;

$y$  – величина возможного ущерба при возникновении избегаемых (плохих) последствий.

Тогда экономичность проекта разработки ПК управления МКС в рамках предлагаемого концептуального рассмотрения можно выразить как:

$$\vartheta = \rho\varepsilon = \rho\hat{n}\tau, \quad (4.3.2)$$

где:  $\vartheta$  – экономичность разработки ПК управления МКС, в рамках технологической системы SCRUM;

$\rho$  - вероятность того, что работы (трудозатраты команды программистов) на соответствующих итерациях разработки нецелесообразны (избыточны, не дают значимого прироста качества и пр.);

$\varepsilon$  -общий объем работ (трудозатрат), которые оказались нецелесообразны при разработке, т.е. избыточны, не дают значимого прироста качества текущего проекта ПК управления МКС;

$\hat{n}$  – количество спринтов разработки, которые оказались нецелесообразны при разработке ПК в рамках технологической системы SCRUM;

$\tau$ - нормировано-осредненная трудоемкость одного спринта разработки.

Представление (4.3.2) управления экономичностью разработки ПК управления МКС, в рамках технологической системы SCRUM позволило применить научно-методические средства современного риск-менеджмента для достижения соответствующих частных задач диссертационного исследования.

Тогда система показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС рассматривается как соответствующая иерархическая система анализа риска нецелесообразности трудозатрат команды разработчиков: первоначально оцениваются риски недостижения значимого эффекта по простейшим показателям качества  $\{q_i\}$ , а затем по численным значениям простейших показателей осуществляется расчет риска для сводных и интегрального



показателей  $Q$ . При этом интенсивность связей между показателями в системе анализа риска нецелесообразности трудозатрат команды разработчиков определяется посредством весовых коэффициентов влияния -  $\{\bar{w}_i, \bar{u}\}$  : непосредственные весовые коэффициенты влияния -  $\{\bar{w}_i\}$ , т.е. отражающие уровень вклада риска по текущему показателю в риск ближайшего сводного для него показателя, и глобальные весовые коэффициенты влияния -  $\{\bar{u}_i\}$ , т.е. отражающие уровень вклада риска по текущему показателю в интегральный риск для ПК управления МКС. Существо математического аппарата определения  $\{\bar{w}_i, \bar{u}\}$  приведено в п. 4.3.2.

Таким образом, в рамках предложенного представления управление экономичностью проекта разработки ПК управления МКС сводится к последовательным шагам:

- оценки экономичности текущего проекта разработки по простейшим показателям  $\{q_i\}$ , как некоторых значений риска необоснованности и неэффективности затрат в процессе реализации текущего проекта разработки ПК управления МКС;

- сведению оценок экономичности по простейшим показателям в значения оценок по сводным и интегральному показателям согласно описанной иерархической системе анализа риска нецелесообразности трудозатрат команды разработчиков;

- расчету и анализу уровня рисков необоснованности и неэффективности затрат в процессе реализации текущего проекта разработки ПК управления МКС при определенном количестве спринтов разработки.

Раскрытие существа указанных шагов позволяет описать суть предлагаемого метода управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС в целом, а также детализировать логический и формально-математический аппарат содержательных компонент предлагаемого метода, как инструментария инженера-программиста (инженера по качеству) для ролей продукт-оунера или скрам-мастера в рамках технологической системы SCRUM.

#### 4.3.2. Оценка экономичности по простейшим показателям


Суть оценки экономичности текущего проекта разработки по простейшим показателям  $\{q_i\}$ , как некоторых значений риска необоснованности и неэффективности затрат в процессе реализации текущего проекта разработки ПК управления МКС заключается в обоснованном синтезе соответствующей матрицы оценки рисков, предусмотренной классическими канонами риск-менеджмента для проектов разработки программного обеспечения [39,40,52,123]. Размещение и индексация по столбцам и строкам указанной матрицы, задаваемое оценками экспертов вероятности того, что работы (трудозатраты команды программистов) на соответствующих итерациях разработки нецелесообразны и объема этих работ (трудозатрат), дает возможность в позициях такой матрицы указать обозначения соответствующих оценок регистрируемого уровня риска по данному показателю. В актуальном риск-менеджменте уровни интенсивности риска принято идентифицировать интенсивностью цвета (чем выше интенсивность – тем выше риск) или цветом определенной гаммы (холодные тона – низкий риск, теплые тона – высокий риск), что часто именуется картографированием рисков. При этом количество уровней интенсивности риска не ограничено и определяется спецификой предметной области оценки рисков. Матрица оценки простейших рисков является основой в получении значений риска по простейшим показателям и является, по существу, шкалой оценки по каждому из простейших показателей.

В рамках предложенного метода управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС была взята шкала для градуирования уровней вероятности того, что работы (трудозатраты команды программистов) на соответствующих итерациях разработки нецелесообразны (избыточны, не дают значимого прироста качества и пр.), показанная в таблице 4.3.1.

Общий объем работ (трудозатрат), которые оказались нецелесообразны при разработке, т.е. избыточны, не дают значимого прироста качества текущего проекта ПК управления МКС -  $\varepsilon$ , могут градуироваться в различных экспертно-качественных категориях: непосредственно оценивающих трудоемкость, в

привязке к измерениям в человеко-днях, человеко-часах или человеко-месяцах, или в привязке к количеству спринтов  $\hat{n}$ , при условии осредненной нормированности значения трудоемкости каждого спринта разработки ПО  $\tau$  в текущей технологической системе SCRUM.

Таблица 4.3.1 - Вариант градации уровней вероятности нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО

№	Краткое наименование	Отличительное описание разграничения градаций	Направление вектора изменений
1.	Почти точно, наверняка	Ожидается в любых условиях	<i>MAX</i>
2.	Скорей всего	Происходит часто, как правило всегда	
3.	Вероятно	Случается эпизодически	
4.	Маловероятно	Иногда произойти может	
5.	Редко	Если и может произойти, то при исключительных обстоятельствах	
6.	Очень редко	Может произойти как исключительный факт	<i>MIN</i>

Вариант градуирования объема работ (трудозатрат), которые могут оказаться нецелесообразными при разработке, т.е. избыточны, не дадут значимого прироста качества текущего проекта ПК управления МКС, использованный в рамках данного диссертационного исследования приведен в таблице 4.3.2.

Таблица 4.3.2 - Вариант градаций объема трудозатрат, которые могут оказаться нецелесообразными при разработке ПК управления МКС

№	Краткое наименование	Описание квалификационных признаков градации		
		Количество неэффективных спринтов	Общая мотивационная составляющая	Характер процесса тестирования и устранения ошибок в программном коде
1.	<u>Малый, незначительный</u>	1-2	Высокая	Динамичный, оперативный, эффективный
2.	<u>Несущественный</u>	3-5	В целом высокая	Достаточно оперативный, системный
3.	<u>Заметный, ощутимый</u>	4-7	Умеренная	Корректурa ошибок в коде носит отложенный характер

4.	<u>Значительный,</u> <u>высокий</u>	7-10	Сниженная	Плохо организованный и мало систематизированный
5.	<u>Очень высокий,</u> <u>неприемлемо</u> <u>высокий</u>	Более 10	Отсутствует	Носит несистемный, случайный характер

Назначение основных градаций риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС в рамках предлагаемого метода управления экономичностью произведено в соответствии с [26] и представлено в таблице 4.3.3.

Таблица 4.3.3 - Вариант назначения основных градаций риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС

№	Градация риска (по мере убывания)	Интерпретация по характеру угрозы проекту разработки и требуемому реагированию	Краткое лингвистическое значение и цветовая дифференциация
1.	Сверхвысокий	Должны быть осуществлены кардинальные и всеобъемлющие мероприятия по смене стратегии разработки, изменению парадигмы разработки и перераспределением ресурсов команды разработчиков.	<b>СВС</b>
2.	Высокий	Необходимо постоянное и непрерывное воздействие продукт-оунера и скрам-мастера по регулярному контролю целесообразности трудозатрат на каждом вновь производимом спринте разработки, по ограничению необоснованных затрат времени разработки.	<b>ВСК</b>
3.	Невысокий (средний)	Необходимы отдельные мероприятия и действия продукт-оунера и скрам-мастера по периодическому контролю целесообразности трудозатрат на каждом вновь производимом спринте разработки.	<b>НВС</b>
4.	Ограниченный (низкий)	Выявляется и ограничивается в рамках стандартных процедур контроля трудоемкости в разработке программного обеспечения.	<b>ОГР</b>

Для осуществления перехода от качественных градаций риска нецелесообразности трудозатрат разработки ПК управления МКС, соответствующих подходу из [26], к количественному учету их взаимной вложенности была применен один из разделов современной математики мягких вычислений – теория лингвистических переменных, базирующаяся на алгебре нечетких множеств, которые детально описаны, в частности в [10,53,69,94,103]. Соответственно указанные в таблицах 4.3.1. и 4.3.2. градации уровней вероятности нецелесообразности трудозатрат и их объема представлены как соответствующие термы двух лингвистических переменных:  $L_1 = \text{«вероятность»}$

нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО» и  $L_2 =$  «объем трудозатрат, которые могут оказаться нецелесообразными при разработке ПК управления МКС». В силу общеизвестности в современных условиях основ мягких вычислений, вообще, и математической теории лингвистических переменных, в частности [10,53,69,94,103], в рамках описания предлагаемого метода автор останавливается только на специфике задания лингвистических переменных  $L_1$  и  $L_2$ . В целом для термов, областей определения и значения параметров  $L_1$  и  $L_2$  в виде лингвистическую переменную  $L^\wedge$  следует определять как следующее множественное соотношение:

$$L^\wedge = \langle \delta, P^\wedge(\delta), A^\wedge, G^\wedge, M^\wedge \rangle, \quad (4.3.3)$$

где  $\delta$  – общее наименование переменной лингвистической;

$P^\wedge(\delta)$ - множество термов для  $\delta$ , т.е. семейство вербальных констант значений для  $\delta$ , каждая из которых есть нечеткая переменная с областью (отрезком) задания  $A^\wedge$ ;

$R^\wedge$  - семантическое правило, традиционно принимающее форму грамматики, которое синтезирует значения  $l^\wedge$  для термов исходной переменной  $\delta$  ( $l^\wedge \in P^\wedge(\delta)$ );

$N^\wedge$  - алгебраическое правило, ассоциирующее для каждого терма нечеткое подмножество  $l^\wedge \in P^\wedge(\delta)$  [53].

В целях репрезентации составляющих экономичности разработки ПК управления МКС в интерпретации риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки:  $L_1 =$  «вероятность нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО» и  $L_2 =$  «объем трудозатрат, которые могут оказаться нецелесообразными при разработке ПК управления МКС» в виде лингвистических переменных типа  $L^\wedge$  соответствующих шкалированным градациям из таблиц 4.3.1. и 4.3.2., производится постановка нечетких множеств для шкал оценки по указанным градациям как соответствующих функций принадлежности термов (лингвистических переменных). Это подразумевает, что в рамках технологической системы SCRUM продукт-оунер и скрам-мастер в рамках процедуры оценки указанных

составляющих экономичности по простейшим показателям  $\{q_i\}$  будут использовать термины сопоставленные термам указанных лингвистических переменных  $L_1$  и  $L_2$ . Синтез функций принадлежности указанных нечетких множеств для термов оценки осуществляется по стандартным («де-факто») математическим методам освещенным, в частности, в [53,69]. Так применительно к методу управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС для синтеза функций принадлежности термов переменных лингвистических  $L_1$  и  $L_2$  использован базовый математический аппарат относительных частот [53]. В целях достижения требуемой надежности результатов указанного синтеза функций принадлежности количество изначально задействованных экспертов следует рассчитать по математико-статистическим методикам экспертного опроса.

В ходе диссертационного исследования, в силу ориентировочной сути оценки экономичности проекта разработки ПК управления МКС, обоснован вывод о целесообразности построения функций принадлежности  $\mu_{R^L}$  термов для  $L_1$  и  $L_2$  в виде т.н. «треугольных нечетких чисел» или нечетких чисел  $T$ -формы. Предлагаемый метод управления экономичностью допускает и использование функций принадлежности с  $\pi$ -формой, но в силу громоздкости аппарата их расчета и отсутствием необходимости «осторожного подхода» в расчете указанных функций, доминирующими приняты нечеткие числа именно  $T$ -формы.

Указанные функции принадлежности  $\mu_{R^L}$  термов лингвистических переменных  $L_1 =$  «вероятность нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО» и  $L_2 =$  «объем трудозатрат, которые могут оказаться нецелесообразными при разработке ПК управления МКС» объективно обязаны удовлетворять следующие требования, задаваемые в отношении лингвистических переменных:

$$\mu_{R^L}^1(U_1) = 1; \quad \mu_{R^L}^5(U_5) = 10 \div 15; \quad (4.3.4)$$

$$(\forall \delta^{\wedge} \in L^{\wedge} \setminus \{\delta^{\wedge}\}) \quad (0 < \max_{u \in U} \mu_{R_i \cap R_{i+1}}^L(u) < 1); \quad (4.3.5)$$

$$(\forall \delta^{\wedge} \in L^{\wedge}) \quad (u \in U): (\mu_R^L(U) = 1); \quad (4.3.6)$$

$$(\forall L^{\wedge}) \quad (u_1 \in R_1) \quad (u_2 \in R_2) \quad ((u \in U)(u_1 < u < u_2)). \quad (4.3.7)$$

Таким образом, функции принадлежности  $\mu_R^L$  термов лингвистических переменных  $L_1$  и  $L_2$  аналитически задают нечеткую шкалу оценки указанных составляющих экономичности, как некоторого риска необоснованности и неэффективности затрат в процессе реализации текущего проекта разработки ПК управления МКС, оцененного по любому из простейших показателей  $\{q_i\}$ . Суть синтеза на основе результатов математико-статистической экспертизы функций принадлежности  $\mu_R^L$  для указанных термов лингвистических переменных  $L_1$  и  $L_2$  согласно матметода относительных частот сводится к расчету модальных значений и коэффициентов нечеткости для нечетких чисел, обозначающих эти термы.

На базе формулы (4.3.1.) экономичность проекта разработки ПК управления МКС в рамках предлагаемого концептуального подхода рассматривается по простейшим показателям качества в сети рекурсивной оценки в виде произведения выше указанных нечетких чисел – термов лингвистических переменных  $L_1 =$  «вероятность нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО» и  $L_2 =$  «объем трудозатрат, которые могут оказаться нецелесообразными при разработке ПК управления МКС» для каждого из простейших показателей  $\{q_i\}$ . На практике указанное произведение, согласно [26], представляется как т.н. матрица последствий и вероятностей, в которой по оси абсцисс откладываются градации объема трудозатрат, которые могут оказаться нецелесообразными при разработке ПК управления МКС, а по оси ординат градации уровней вероятности нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО, что в соответствии с (4.3.1.), позволяет путем соответствующей цветовой дифференциации показать уровень назначения основных градаций риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС. Пример такого назначения в виде матрицы последствий и вероятностей

для оценки экономичности текущего проекта разработки ПК управления МКС по одному из простейших показателей  $\{q_i\}$  показан на рисунке 4.3.1.

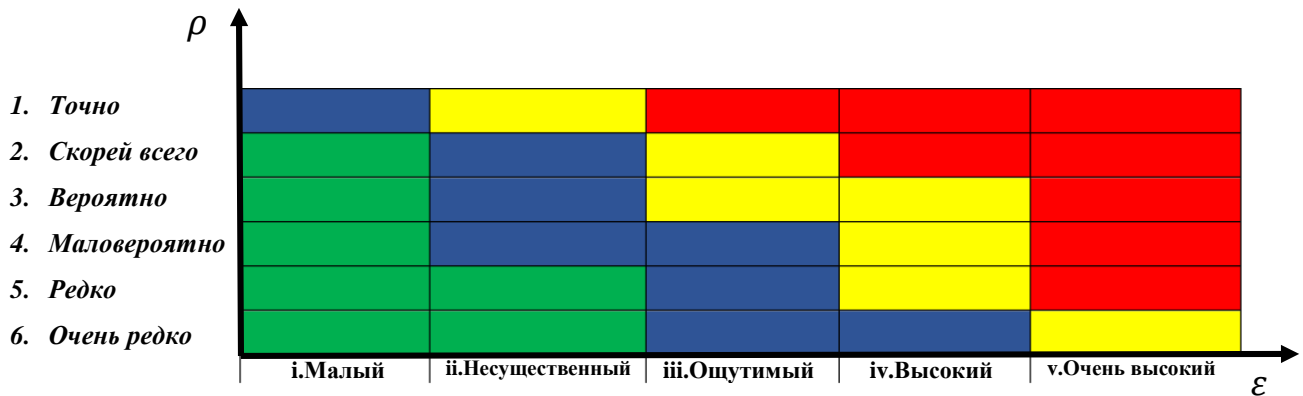


Рисунок 4.3.1 – Матрица для оценки экономичности текущего проекта разработки ПК управления МКС по одному из простейших показателей  $\{q_i\}$

Представленное произведение градаций уровней вероятности нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО и оценочных объемов трудозатрат, которые могут оказаться нецелесообразными при разработке ПК управления МКС в варианте сопоставленных термов лингвистических переменных  $L_1 =$  «вероятность нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО» и  $L_2 =$  «объем трудозатрат, которые могут оказаться нецелесообразными при разработке ПК управления МКС» дает возможность рассматривать каждую ячейку матрицы, показанной на рисунке 4.3.1. также как нечеткое число. Это нечеткое число  $\tilde{L}_{ij} =$  «экономичность разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по текущему показателю» как нечеткое произведение сопоставленных термов-нечетких чисел для лингвистических переменных  $L_1 =$  «вероятность нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО» и  $L_2 =$  «объем трудозатрат, которые могут оказаться нецелесообразными при разработке ПК управления МКС»: т. е.  $i$ -го терма по  $L_1$  и  $j$ -го терма по  $L_2$ . Значения нечеткого числа  $\tilde{L}_{ij}$  рассчитываются по математическим правилам операций перемножения нечетких чисел из современной алгебры нечетких множеств [10,53,69,94,103].



Таким образом, визуальному виду матрицы оценки экономичности текущего проекта разработки ПК управления МКС по одному из простейших показателей  $\{q_i\}$ , с которую в рамках технологической системы SCRUM использует продукт-оунер (скрам-мастер), поставлено в соответствие представление, которое выражает на базе теории нечетких чисел оценку экономичности, как определенной меры риска необоснованности трудозатрат, количественно. Это позволяет в дальнейшем использовать такую оценку в ходе интегральной свертки значений оценок экономичности по простейшим показателям в сводные оценки, опираясь на алгебру мягких вычислений. В итоге матрица представляет собой шкалу оценки экономичности текущего проекта разработки ПК управления МКС по одному из простейших показателей  $\{q_i\}$ , а оценка его текущего значения продук-оунером или скрам-мастером есть определение определенной ячейки представленной матрицы, а также сопоставленного такой ячейке нечеткого числа - значения экономичности (т.е. риска необоснованных затрат трудоемкости). Существо такой оценки показано на рисунке 4.3.2.

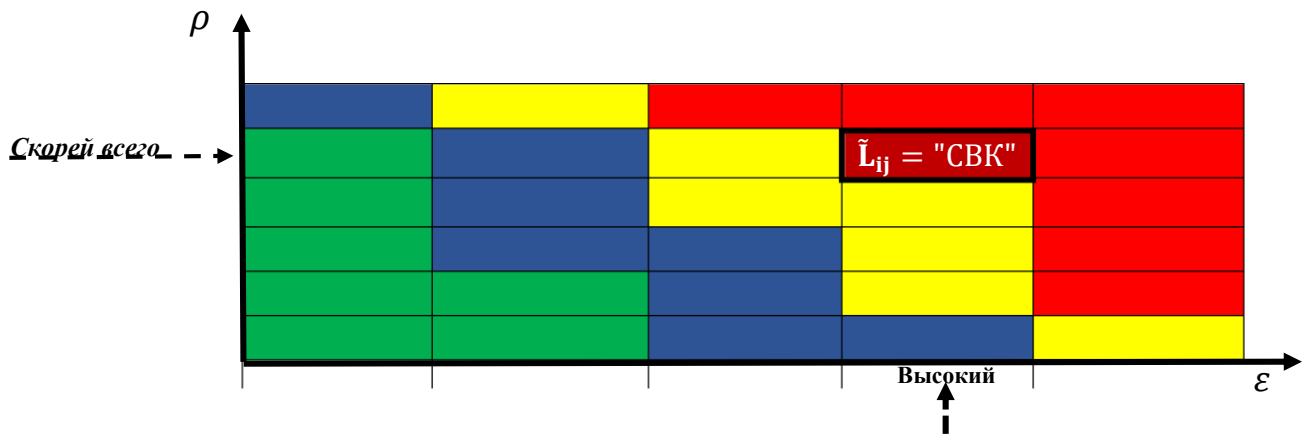


Рисунок 4.3.2 – Оценка экономичности разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по простейшему показателю

Представленный способ оценки экономичности разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по простейшему показателю и выражения её в виде нечеткого числа дает возможность применять указанные оценки в расчетах экономичности по сводным и интегральному показателям качества.

## 4.3.3. Оценка экономичности по сводным показателям

Метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС не предусматривает прямой экспертизы значений сводных показателей (непосредственной оценки экспертами). Указанные значения рассчитываются путем математической свертки оценок экономичности по простейшим показателям. Это объективно потребовало задания для всех сводных показателей единых принципов и правил определения градаций указанной оценки. Нет необходимости строить указанные градации в виде матриц, т.к. имея оценки экономичности по простейшим показателям в качестве конкретного нечеткого числа, далее становится возможным работать с значениями лингвистической переменной  $\tilde{L}_{ij} =$  «экономичность разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по текущему показателю». Тогда градуирование каждого сводного (в т.ч. интегрального) показателя экономичности проекта разработки ПК управления МКС будет заключаться в расчете функций принадлежности термов  $\mu_R \tilde{l}_{ij}$  для  $\tilde{L}_{ij}$  сопоставленных уровням риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС. Указанный расчет производится по следующим логическим этапам:

1. Для каждого из уровней (градации) градаций риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС  $C'$  по степени идентифицируемой ими экономичности из таблицы 4.3.3 для всех простейших показателей  $r_i$ , вложенных в свертку сводного показателя  $Q_0$  задаются лингвистические термы, обозначаемые нечеткими множествами  $\tilde{L}_{ij}$  от  $max$  к  $min$  значениям для текущей градации. Таким образом определяется некоторый числовой интервал  $E$  для текущей градации у такого простейшего показателя вложенного в свертку сводного показателя:

$$E_i = \{ \min \mu_R \tilde{l}_{ij}, \dots, \mu_R \tilde{l}_{ij}, \dots, \max \mu_R \tilde{l}_{ij} \} \quad (i = 1 \div C') \quad (4.3.8)$$

2. Установленные согласно (4.3.8) интервалы  $E_i$  согласно принятой математической форме интегральной свертки перерасчитываются в рамках

структуры вложенности сводного показателя в сопоставленный нечеткий интервал (т.е. интервал задаваемый функцией принадлежности соответствующего нечеткого числа), что соответствует текущей градации риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС  $C'$ . Указанный перерасчет осуществляется на основе мат. аппарата т.н. уровневых множеств, детально описанным в [53]. Треугольная форма (Т-форма) функций  $\mu_R^L(U)$  включает 2-ва участка монотонности, а это дает возможность каждый из этих участков монотонности (возрастающий и убывающий) представить  $M$  точками, при этом для каждого из указанных участков

$$\min M = 2. \quad (4.3.9)$$

При наличии потребности в более точной форме функции принадлежности или осторожном подходе следует наращивать число  $M$  до потребной точности. Тогда суть реализации математических операций с нечеткими числами на базе математического аппарата уровневых множеств заключается в следующем:

а) участки монотонности одного знака (+/-) функций принадлежности  $\mu_R^{L_1}(U), \dots, \mu_R^{L_2}(U) \dots \mu_R^{L_N}(U)$  простейших показателей качества  $q_1 \dots q_i \dots q_N$  ( $N$  – количество показателей вложенных в свертку сводного показателя  $q_0$  со своей функцией принадлежности  $\mu_T(z)$ ) описываются семействами точек одного уровня:

$$(\{u_1^1, u_1^2, \dots, u_1^i, \dots, u_1^M\}, \dots, \{u_j^1, u_j^2, \dots, u_j^i, \dots, u_j^M\}, \dots, \{u_N^1, u_N^2, \dots, u_N^i, \dots, u_N^M\}); \quad (4.3.10)$$

б) для сопоставляемых однозначно по знаку монотонности участков функций принадлежности термов-значений показателей качества ПК управления МКС, занятых в свертке сводного показателя  $q_0$ , из точек одного и того же уровня, отвечающих равенству

$$\mu_R^{L_1}(u_1) = \mu_R^{L_2}(u_2) = \dots = \mu_R^{L_N}(u_N), \quad (4.3.11)$$

определяются одноуровневые подмножества на  $U$

$$U_i = \{u_1^i, \dots, u_j^i, \dots, u_N^i\} \quad (i = 1 \div M); \quad (4.3.12)$$

в) на основе каждого  $i$ -го одноуровневого подмножества, после перемножения его элементов на элементы числового вектора непосредственных

весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$ , определяемых согласно (4.1.9) в узлах вложенности осуществляется поточечный расчет функции принадлежности нечеткого интервала, определяющего текущую градацию риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС  $K'$  для улучшения качества по сводному показателю  $q_0$ :

$$\mu_{\sum_{j=1}^N R_j}(z) = \max_{z = \sum_{i=1}^N u_j^i} \min(\mu_R^{L_1}(u_1^i), \dots, \mu_R^{L_j}(u_j^i), \dots, \mu_R^{L_N}(u_N^i))$$

при  $\sum_{j=1}^N R_j = R'$  (4.3.13)

3. Рассчитанные согласно (4.3.13) нечеткие интервалы сопоставленные текущей градации риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС  $R(K')$  для улучшения качества по сводному показателю  $q_0$  в иерархической системе показателей оценки качества  $G$  совокупно задают требуемые шкалы оценки сводных показателей, вплоть до интегрального. Такие шкалы визуально имеют вид, показанный на рисунке 4.3.3., где на оси абсцисс измеряются риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС для улучшения качества по текущему показателю, а на оси ординат – значение уровня принадлежности к соответствующим термам лингвистической переменной  $\tilde{L}_{ij} = \text{«экономичность разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по текущему показателю»}$ .

4. Соответственно рассчитываются Т-нечеткие интервалы для функций принадлежности  $\mu_R^{\tilde{L}_{ij}}$  термов для остальных градаций экономичности, т.е. риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС  $R(K')$  для улучшения качества по сводному показателю  $q_0$  в иерархической системе показателей оценки качества  $G$ . Если вложенность сводного показателя включает в себя не только экономичность по простейшим показателям качества, но и других сводных показателей, то первоначально градуируется более простой сводный показатель, а в дальнейшем его нечеткие

интервалы термов используются в градации более сложного сводного показателя.

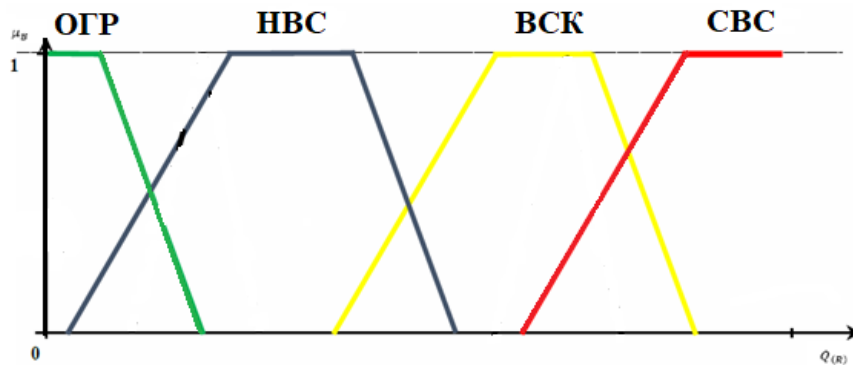


Рисунок 4.3.3. – Вид нечеткой шкалы для оценки экономичности по сводному показателю

Оценка экономичности по сводному показателю в виде конкретного нечеткого числа  $Y$  соответствующего терму  $\hat{Y}$  накладывается на указанную шкалу для лингвистической переменной  $\tilde{L}_{ij}$  = «экономичность разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по текущему показателю», конкретизированную для каждого сводного показателя качества, и анализируется на предмет степени совпадения  $Y$  с градациями шкалы, т.е. функциями принадлежности нечетких чисел  $\mu_R \tilde{L}_{ij}$  градаций экономичности, т.е. риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС  $R(K')$  для улучшения качества по сводному показателю  $q_0$  в иерархической системе показателей оценки качества  $G$ .

При проведении анализа результатов оценки экономичности разработки ПК управления МКС определение значения оценки есть наложение функции принадлежности  $\mu_R \tilde{L}_{ij}$  нечеткого числа  $Y$  на шкалу терм-множества лингвистической переменной  $\tilde{L}_{ij}$ . Пример такого наложения показан на рисунке 4.3.4. , где функция принадлежности нечеткого числа Т-форм зения оценки  $Y$  показано черным цветом.

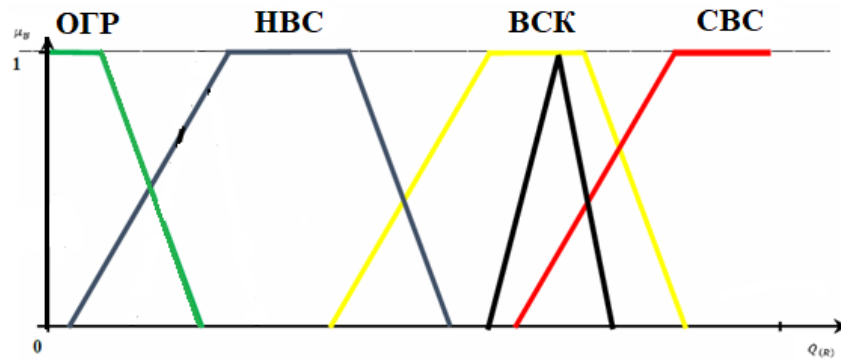


Рисунок 4.3.4. – Пример определения значения оценки экономичности по сводному показателю

Таким образом, анализ результатов оценки экономичности разработки ПК управления МКС по сводным показателям проводится по уровню совпадения с нечеткими числами-термами градаций, т.е. мерой является степень совпадения полученного текущего значения показателя экономичности с близлежащим термом лингвистической шкалы оценки по показателю  $q_0$ . На практике, это выражается либо в констатации совпадения текущей оценки экономичности с одной из градаций шкалы (такой вариант показан на рисунке 4.3.4), либо в определении бинарного выражения, констатирующего степень совпадения с несколькими смежными градациями, по типу (пример):

$$\tilde{L}_{ij} = \{ "ВСК" / 0,9; "НВС" / 0,4 \}, \quad (4.3.14)$$

т.е. высокий риск нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС со степенью принадлежности 0,8 – невысокий риск со степенью принадлежности 0,4.

Таким образом, предлагаемый аппарат позволяет рассчитывать градации и значения по сводным показателям экономичности, как риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС, на основе шкал и оценок по простейшим показателям качества; добиться мягкого количественного оценивания экономичности проектов по разработке ПК управления МКС в системе нечетких интервалов-термов лингвистической переменной “экономичность разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по текущему показателю”; количественно учитывать и

контролировать уровень нечеткости получаемых оценок экономичности, т.е. рисков нецелесообразных трудозатрат при разработке проекта указанных ПК.

#### 4.3.4. Существо управления экономичностью проекта разработки программного комплекса управления МКС

Управление экономичностью проекта разработки программного комплекса управления МКС сводится к последовательным:

- непосредственной экспертной (т.е. в рамках процедуры экспертного опроса) оценке экономичности по простейшим показателям;
- расчету значений риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС для улучшения качества по сводным и интегральному показателям качества;
- принятии мер улучшения качества ПК управления МКС, снижения необоснованных трудозатрат для совершенствования качества этого ПК по соответствующим показателям. Следствием таких мер является снижение риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС, выявляемое при повторной оценке экономичности;
- итоговой оценке экономичности проекта разработки программного комплекса управления МКС с целью констатации минимизации риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки. Суть такой оценки показана на рисунке 4.3.5., где итоговое значение оценки экономичности показано пунктирной черной линией.

Потребность производства расчета значений риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС для улучшения качества по интегральному показателю качества диктует необходимость определить в ходе диссертационного исследования мат.форму интегральной свертки в интегральное значение экономичности параметров простейших и сводных показателей. В общем случае она имеет вид:

$$Y = f(y_1(q_1), y_2(q), \dots, y_i(q), \dots, y_n(q)), \quad (4.3.15)$$

где  $y_i(q_i)$  – параметр риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС для улучшения качества по показателю  $q_i$ ;  $n$  – количество показателей качества сворачиваемых интегрально на текущем уровне системы показателей  $G$ ;  $\rho$  – общее количество всех показателей в иерархической системе показателей  $G$ , используемой для оценки экономичности.

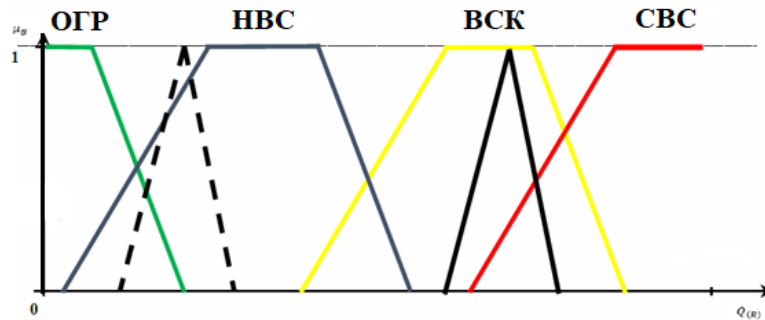


Рисунок 4.3.5. - Итоговая оценка экономичности при минимизации риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки

При этом форма интегральной свертки простейших и сводных показателей экономичности проектов по созданию ПК управления МКС сильно зависит от алгебраических и системных свойств формы интегрального показателя: компоненты входящие в значение одного сводного показателя экономичности могут изначально экспертами оцениваться на шкалах различной природы. Этот возможный перебор шкал оценки позволяет сделать корректный переход от начальных, несопоставимых шкал оценки разнотипных факторов к анализу их на единой шкале. Переход к указанному типу шкал оценки экономичности по простейшим показателям позволяет: а) свести все значения экономичности (риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС) в значения сводных показателей выше стоящего уровня системы показателей  $G$  с учетом соответствующих весовых коэффициентов влияния; б) добиться сравнения всех простейших показателей экономичности на единой шкале. Для этого монотонное преобразование  $\varphi: R^l \rightarrow R^l$  изначальной шкалы действительных чисел  $R^l$  производит максимальное количество



вторичных шкал. Использование монотонных преобразований именно этой математической формы определяется такими факторами: при изменении значения экономичности по некоторому показателю, оцениваемому по начальной шкале  $R^l$ , эта шкала может быть преобразована в эквивалентную, т.е. биективно соответствующую. При эквивалентном преобразовании такой шкалы посредством преобразования возрастающего характера:  $\varphi:R^l \rightarrow R^l$ , то по некоторым 2-м значениям  $y_1, y_2 \in R^l$  со шкалы  $R^l$  реализуется

$$\{y_1 < y_2\} \Leftrightarrow \{\varphi(y_1) < \varphi(y_2)\}. \quad (4.3.16)$$

Последовательность градаций экономичности по показателю, назначаемых на шкале типа  $R^l$ , сохраняется при преобразовании  $\varphi:R^l \rightarrow R^l$  изначальной шкалы. Группа шкал  $\varphi(R^l)$ , синтезируемых из первоначальной шкалы  $R^l$  при помощи всевозрастающих преобразований  $\varphi:R^l \rightarrow R^l$ , должна быть расширена, если включать во внимание неубывающие преобразования, удовлетворяющие правилу

$$\forall y_1, y_2 \in R^1 \{y_1 < y_2\} \Rightarrow \{\varphi(y_1) \leq \varphi(y_2)\}. \quad (4.3.17)$$

Превышающее погрешность метода отличие преобразования (4.3.16) от неубывающего преобразования (4.3.17) заключается в том, что 2-е преобразование допускает т.н.склеивание численных отрезков начальной шкалы  $R^l$ . Это фактически означает: при констатации на первоначальной шкале  $y_1 \neq y_2$ , можно установить на преобразованной шкале соотношение  $\varphi(y_1) = \varphi(y_2)$ . Анализируя группу шкал  $\varphi(R^l)$ , получаемых в итоге последовательных преобразований первоначальной действительной шкалы  $R^l$ , следует исследовать не только возрастающие и неубывающие преобразования (4.3.16, 4.3.17), но и строго убывающие и невозрастающие преобразования, описываемые преобразованиями:

$$\forall y_1, y_2 \in R^1 \{y_1 < y_2\} \Leftrightarrow \{\varphi(y_1) > \varphi(y_2)\}, \quad (4.3.18)$$

$$\forall y_1, y_2 \in R^1 \{y_1 < y_2\} \Rightarrow \{\varphi(y_1) \geq \varphi(y_2)\}. \quad (4.3.19)$$

Указанные преобразования (4.3.18, 4.3.19) реализуются при необходимости изменить полярность оцениваемого экономичности проекта

создания ПК управления МКС. В частности, пусть риск нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС по показателю  $q_j$  из системы показателей  $G$  оценен в исходной числовой шкале  $R^l$  по более простым показателями  $y_1, \dots, y_n$ ,  $y_1 < \dots < y_n$ , где  $\bar{n}$  – количество оцениваемых показателей. Оценки  $y_1, \dots, y_n$  на шкале  $\varphi(R^l)$ , синтезированной монотонным преобразованием  $\varphi: R^l \rightarrow R^l$ , далее обозначены как  $\tilde{q}_i = \tilde{q}(y_i)$ . Пусть функция  $N(y)$ , дает значение показателей экономичности, у которых оценка  $q_j$  на изначальной шкале не превышающей  $y \in R^l$ . Следовательно,  $N(y_1) = 0$ ,  $N(y_n) = \bar{n} - 1$ ,  $N(y_n + \varepsilon) = \bar{n}$ , где величина  $\varepsilon$  – сколь угодно малая положительная величина. В свою очередь, функционал  $N(y)$  есть непрерывный слева неубывающий монотонный функционал, реализующий монотонное преобразование  $\varphi: R^l \rightarrow R^l$  в виде:

$$\tilde{q}(y_i) = N(y_i), \quad y_i \in R^1, \quad N(y_i) \in \{0, 1, 2, \dots, \bar{n}\}, \quad (4.3.20)$$

где  $N(y_i) \in [0, (\bar{n} - 1)]$  – число аналогичных проектов, имеющих значения простейшего показателя, меньшее чем значение, имеющееся у текущего проекта ПК управления МКС. Традиционно вместо преобразования  $\varphi: R^l \rightarrow R^l$  типа (4.3.20) применяется нормирующее преобразование, синтезирующее показатели типа:

$$\tilde{q}(y) = \frac{N(y)}{\bar{n}-1}, \quad y \in R^1, \quad \tilde{r}(y) \in \{0, \frac{1}{\bar{n}-1}, \frac{2}{\bar{n}-1}, \dots, \frac{\bar{n}-2}{\bar{n}-1}, 1\}. \quad (4.3.21)$$

В таком варианте значение  $\tilde{q}(y_i)$  простейшего показателя  $\tilde{q}(y)$  указывает на то, что доля показателей экономичности для проекта создания ПК управления МКС, имеющих значение искомого показателя у менее, чем значение  $y_i$ .

Суть управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС, а именно реализация последовательности актов оценки рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК по конкретизированному показателю качества для специалиста, проводящего экспертизу, будет заключаться в сравнительном анализе параметра  $y$  такого показателя у текущей версии ПО с эталоном  $y_0$ , который имеет место в сознании эксперта. В целях математического описания такого сравнения традиционно

применяются аддитивная или мультипликативная формы аналитического представления показателей [62,89,90]. Так, в частности, аддитивная форма показателя имеет вид

$$\tilde{q}(y) = y - y_0, \quad y, y_0 \in R^1, \quad y_0 > 0. \quad (4.3.22)$$

Аддитивная форма показателя указывает на несовпадение получаемого параметра показателя с принятым эталонным значением. Параметр такого показателя, как правило, принимает значение ноль при  $y=y_0$ , и соответственно: при  $y < y_0$  - отрицательные, и при  $y > y_0$  - положительные значения.

Мультипликативная математическая форма для сводного показателя с учетом эталонного значения, предполагает задание этого показателя выражением вида:

$$\tilde{q}(y) = \frac{y}{y_0}, \quad y, y_0 \in R^1, \quad y_0 > 0. \quad (4.3.23)$$

Показатель вида (4.3.23) тоже учитывает несовпадение полученного параметра показателя с искомым эталоном. Показатель такого вида принимает значение 1 при  $y=y_0$ , отрицательное значение при  $y < y_0$ , положительное значение при  $y > y_0$ . Менее традиционной и более сложной математической формой учета эталонного значения выступает форма сводного показателя, нормированная по образующим её простейшим и сводным показателям. Такое нормирование осуществляется через отображение множества всех возможных значений на единичный отрезок  $[0,1]$ . Так, пусть: задано множество  $\{y\}$  простейших показателей, непосредственно оценивающих экономичность на цифровой шкале  $R^1$ . Такие показатели являются показателями типа “чем больше, тем выше риск нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС”, иными словами, направление увеличения параметра  $y_i$  совпадает с направлением увеличения риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки рассматриваемых ПК. При этом, пусть дано значение  $y=y_0$  исходного эталонного параметра  $y$ . Это значение таково, что все остальные возможные значения, не-превосходящие  $y_0$  это есть пренебрежимо малые (незначимые) значения. Одновременно считается данным также другое, т.е.

определенное альтернативным алгоритмом, эталонное значение  $y=y_+$ ,  $y_<y_+$ . Это такое фиксированное значение, что все другие цифровые значения, большие или равные  $y_+$  есть достаточно одинаково большие. В этой ситуации необходимо принять к применению показатели кусочно-линейного вида, описываемые выражением типа:

$$\tilde{q}(y) = \begin{cases} 0, & \text{при } y \leq y_- \\ \frac{y - y_-}{y_+ - y_-}, & \text{при } y_- < y \leq y_+, \\ 1, & \text{при } y > y_+ \end{cases} \quad (4.3.24)$$

монотонно неубывающим при возрастании риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС.

Если полярность анализируемого показателя экономичности (риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС) отрицательна, иными словами, если увеличение параметра по соответствующему показателю вызывает понижение значения интегрального показателя в целом (показатели типа “чем меньше, тем выше риск нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС”), то необходимо (следует) принять, что дано стандартно-эталонное значение  $y=y_-$  для показателя  $y$ , такое, что все значения, не превосходящие  $y_-$  соответственно, есть пренебрежимо малые значения. Заданным определенно считается и другой эталон  $y=y_+$ ,  $y_<y_+$ , такой, что все значения, большие или равные  $y_+$  есть неприемлемо большие значения. В этой ситуации следует применять показатель кусочно-линейного вида, математически описываемый выражением вида:

$$\tilde{q}(y) = \begin{cases} 1, & \text{при } y \leq y_-, \\ \frac{y_+ - y}{y_+ - y_-}, & \text{при } y_- < y \leq y_+, \\ 0, & \text{при } y > y_+, \end{cases} \quad (4.3.25)$$

невозрастающий при росте значений по исходному показателю искомого вида. С целью учета выпуклости соотношения  $\tilde{q} = \tilde{q}(y)$  математические выражения (4.3.24), (4.3.25) обобщаются к виду:

$$\tilde{q}(y) = \begin{cases} 0, & \text{при } y \leq y_-, \\ \left(\frac{y - y_-}{y_+ - y_-}\right)^\lambda, & \text{при } y_- < y \leq y_+, \\ 1, & \text{при } y > y_+, \end{cases} \quad (4.3.26)$$

$$\tilde{q}(y) = \begin{cases} 1, & \text{при } y \leq y_-, \\ \left(\frac{y_+ - y}{y_+ - y_-}\right)^\lambda, & \text{при } y_- < y \leq y_+, \\ 0, & \text{при } y > y_+, \end{cases} \quad (4.3.27)$$

где переменный параметр  $\lambda$  задает вид выпуклости порождающих функций: график функции  $\tilde{q} = \tilde{q}(y)$  будет демонстрировать выпуклость вниз при  $\lambda > 1$ , будет демонстрировать выпуклость вверх при  $\lambda < 1$ ; функция  $\tilde{q}(y)$  линейна по отрезку  $[x_-, x_+]$  при  $\lambda = 1$  [2,107]. За тем следует применять нормирующие функции типа (4.3.26) и (4.3.27). Сужение  $\tilde{q} = \tilde{q}(y)$ , как возрастающей функции, на отрезок  $[y_-, y_+]$ , следует рассматривать через разделение этого отрезка на  $m$  одинаковых подотрезков (частей). Аналогично разделяется область значений функции  $[0,1]$  на  $n$  одинаковых подотрезков (частей). Получаемая в итоге цифровая решетка из  $(m+1) \times (n+1)$  точек, размещенных в границах простейшего прямоугольника  $[y_-, y_+] \times [0,1]$ . Тогда семейство  $J(m,n)$  неубывающих функций от дискретного аргумента, графики которых проходят через узлы выше описанной цифровой решетки и удовлетворяют базовым условиям  $\tilde{q}(y_-) = 0$ ,  $\tilde{q}(y_+) = 1$ , является конечным. Нечеткость выбора конкретизированного выбора нормирующей функции из семейства  $J(m,n)$ , как правило, математически описывается и анализируется на основе рассмотрения выше указанных преобразований как случайных процессов с равномерным распределением и вероятностными характеристиками [107].

Таким образом, результирующий итог отбора преобразований показателей в составе сводных показателей экономичности проектов разработки ПК управления МКС есть установление корректного перехода-отображения от цифрового вектора  $y = (y_1, \dots, y_m)$ ,  $y_i \in R^1$ , в котором все значения показателей непосредственно оценены по сети  $G$  оценки качества указанных программных комплексов на различных шкалах, к цифровому вектору нормированных показателей  $\tilde{q} = (\tilde{q}_1, \dots, \tilde{q}_m)$ ,  $\tilde{q}_i \in [0,1]$ , где показатели приведены к одной шкале

оценивания. Именно этот фактор создает фундамент для корректности применения алгебраического аппарата свертки значений простейших и сводных показателей в составе значения интегрального [62,89,90].

Основываясь на аксиоматическом постулате о непрерывности оценок простейших показателей экономичности  $y_i(r_i)$  (риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС), возможно радикально упростить математическую форму интегральной свертки (4.3.15).

При этом многоэтапный процесс оценки и принятия во внимание весовых коэффициентов влияния  $\{\bar{w}_i\}$  для оценок  $Y_i^m$  по сводным показателям на  $m$ -ом уровне свертки в интегральный показатель экономичности (риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта создания ПК управления МКС), через значения простейших или сводных показателей более низкого уровня  $m+1$  в многоуровневой системе показателей  $G$ , осуществляется по выражению:

$$Y_i^m = f_i^m(y_1^{m+1}(q_1), \dots, y_{K_{i+1}}^{m+1}(q_K)) \quad (4.3.28)$$

Следовательно математическая форма интегральной свертки вида (4.3.15) на базе выражения (4.3.28), при отображении в операторной форме, будет представляться как:

$$Y = \hat{F}^1, \dots, \hat{F}^i, \dots, \hat{F}^m(y_1(q_1), \dots, y_n(q_n)). \quad (4.3.29)$$

Оператор, при этом представлении, есть осуществление преобразования в соответствии с формулой:

$$\hat{F}^m: y^{i+1} \rightarrow y^m. \quad (4.3.30)$$

Принципиальное функциональное различие между математической формой свертки (4.3.15), и предлагаемой формой её преобразования по (4.3.30) заключается в том, что форма (4.3.15) ограничивает входные данные оценки рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС (т.е. экономичности) подмножеством оценок по простейшим показателям и исключает их агрегирование в сводные показатели. Преобразование формы интегральной свертки к виду (4.3.28) основывается на применении множества значений оценок простейших показателей рисков

нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС (т.е. экономичности), но она допускает многоуровневое, поэтапное свертывание как простейших, так и производных сводных показателей.

Как ранее указывалось, за логический базис разработки аппарата оценки рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС (т.е. экономичности) принят постулат, что эксперт-разработчик ПО, моделирующий в сознании некоторый эталон идеального функционирования создаваемого ПК, при оценивании осуществляет сравнение с эталоном по простейшим показателям качества текущее состояние реально исследуемого им программного обеспечения, что позволяет существо оценивания экономичности по простейшим показателям представить как:

$$\Delta Y = Y_1 - Y_0 \quad (4.3.31)$$

В силу того, что оценки по простейшим показателям рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС (т.е. экономичности) задаются по представленной схеме (4.3.31), то воплощение в жизнь процесса оценивания согласно (4.3.15) по иерархии системы показателей оценки качества обеспечивает математически корректную свертку указанных оценок в соответствии с (4.3.28).

В свою очередь, преобразование сводных и интегральных показателей рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС (т.е. экономичности) в более конкретизированной мат.форме определяется количеством ограничений, принимаемых во внимание при агрегировании. Это, в первую очередь, условия существования и непрерывности показателей риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС (т.е. экономичности), а, во вторую очередь, условие независимости по приращению и условие независимости по предпочтению. Если реализована сходимости процесса оценки, при выполненных указанных условиях первой очереди, то свертка простейших и сводных показателей в интегральный согласно системе  $G$  может быть представлена в нормальной форме вида:

$$Y(Q) = \sum_{i=1}^n y_i(q^{(i)}), \quad (4.3.32)$$

где, соответственно,  $q^{(i)} = (q_1, \dots, q_i)$  — числовой подвектор, включающий первые  $i$  из всего числа  $n$  показателей  $q$  [2].

Для преобразования в мультиаддитивную форму простейшие показатели, помимо удовлетворения условий существования и непрерывности, должны удовлетворять и условию полной независимости по приращению. Такое строгое условие задается (определяется), с учетом ввода специального обозначения для ординарного числового вектора  $q^{(i-)} = (q_1, \dots, q_{i-1}, q_{i+1}, \dots, q_n)$ . Некоторый простейший или сводный показатель риска  $q_i$  не зависит по приращению от остальных показателей, согласно системе оценивания, при отношениях предпочтительности между приращениями такого показателя не зависящих от того, на каком уровне приняты значения численных компонент вектора  $q^{(i-)}$ . Проверка реализации этого строгого условия производится путем констатации предпочтения между одним и тем же значением  $\Delta q_i$  для показателя  $q_i$  при различных значениях компонент в составе вектора  $q^{(i-)}$ . Если такое отношение предпочтительности  $\Delta q_i$  для простейшего показателя  $q_i$  остается неизменным при любых значениях  $q^{(i-)}$ , то показатель  $q_i$  признается независимым по приращению [2,62,89,90].

Указанная реализация условия независимости по простейшим и сводным показателям  $q_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) обеспечивает эквивалентность преобразования интегральной свертки значений показателей в системе  $G$  в мультиаддитивную форму вида:

$$Y(Q) = \sum_{k=1}^n \prod_{i=1}^k \eta_i(y_i(q_i)) \quad (4.3.33)$$

где  $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$  — вектор значений простейших показателей;  $\eta$  — принятая по условиям существования, непрерывности и независимости комбинация  $y_i(q_i)$ . Мультиаддитивная мат.форма свертки показателей — это комбинация из  $n$  функционалов 1-ой переменной, численно рассчитывать которые, проще, чем функционалы многих переменных. Два показателя  $(q_i, q_j)$  независимы по



предпочтению от остальных показателей в многоуровневой системе показателей качества  $q(i,j-)=(q_1,\dots,q_{i-1},q_{i+1},\dots,q_{j-1},q_{j+1},\dots,q_n)$ , если предпочтительности, установленные между числовыми векторами  $q'=(q_i',q_j',q(i,j-))$ ;  $q''=(q_i'',q_j'',q(i,j-))$  не зависят от уровней иерархии системы, при которых фиксированы текущие значения показателей  $q(i, j-)$  [107]. Выявив наличие отношения предпочтительности только для показателей  $q_i$  и  $q_j$ , становится возможным распространить такое отношение на все множество анализируемых показателей качества ПК управления МКС. Если указанное условие выполняется, то свертку для расчета значений сводных и интегральных показателей возможно представлять в аддитивной форме вида:

$$Y(q_n) = \sum_{i=1}^n y_i(q_i). \quad (4.3.34)$$

В свою очередь, аддитивной форме (4.3.34) эквивалентны такие математические формы интегральной свертки:

- мультипликативная форма, представимая выражением типа:

$$Y(q_n) = \prod_{i=1}^n y_i(q_i); \quad (4.3.35)$$

- нормированная аддитивная форма, представимая выражением типа:

$$Y(q_n) = \sum_{i=1}^n k_i y_i(q_i), \quad (4.3.36)$$

где  $\sum_{i=1}^n k_i = 1$  и  $k_i \geq 0$  для всех  $i = \overline{1, n}$ . (4.3.37)

При выводе форм функций  $\tilde{q}_i = \tilde{q}(y_i)$ , индуцируемых преобразованием  $\varphi: R^l \rightarrow R^l$  и применимых для оценки простейших и сводных показателей определено, что такие функции отвечают условиям существования и непрерывности, что, в свою очередь, создает логическую базу для получения значений сводных и интегральных показателей в форме (4.3.34). Представление этих же показателей в формах (4.3.35)- (4.3.37), задается выполнением условия независимости на подмножестве простейших показателей. Проверка независимости простейших показателей была проведена в рамках диссертационного исследования, которая свелась к проверке независимости каждой из пар показателей  $q_i(r_i), q_j(r_j)$  для  $i, j = \overline{1, n}$  от оставшегося подмножества показателей. В результате констатирован факт того, что общее число  $n$  простейших показателей для разных видов оценки

экономичности разработки проектов ПК управления МКС находится в численных границах  $50 \div 80$ . Из этого следует, что полное количество проверок  $V$  независимости всех компонент множества  $\{q_n\}$  может быть рассчитано по формуле:

$$V = \binom{n}{2} = \frac{n!}{2!(n-2)!} \quad (4.3.38)$$

где  $\binom{n}{2}$  – количество сочетаний по 2 из  $n$ .

В силу экспоненциального характера роста значения  $V(n)$  в соответствии с формулой (4.3.38), реализовать полное число проверок  $V$  в рамках данного диссертационного исследования оказалось невозможным. Применение соответствующих программных средств для указанной проверки оказалось малоэффективным в силу того, что оценки по простейшим показателям получаются в рамках процедуры экспертного опроса и носят не формальный характер. Вследствие указанной невозможности был строго выявлен факт наличия независимости между случайно выбранными парами простейших показателей. Для случайным образом избранных простейших показателей  $q_i$  и  $q_j$  устанавливалась предпочтительность прироста для различных уровней избранных простейших показателей  $q_i$  и  $q_j$  на числовом отрезке их возможных значений. Полученные указанным образом результаты исследования позволили принять истинным утверждение о независимости простейших показателей оценки рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС (т.е. экономичности), т. к. при фиксации свойства независимости на соответствующем подмножестве показателей, реализация выше описанного условия независимости корректно распространяется на всё множество показателей проводимой оценки [62,89,90].

Таким образом, при практическом подтверждении независимости случайным образом отобранных 2-х простейших показателей  $q_i$  и  $q_j$  сводные показатели оценки рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС (т.е. экономичности) могут быть рассчитаны как свертка по нормированной аддитивной форме вида (4.3.36).

Однако, для процедур оценки, базирующихся на экспертном опросе, по причине того, что значения  $y_i(q_i)$  есть входные данные, являющиеся вещественными числами, правомерно свертку типа (4.3.36) представлять как частный тип аддитивной формы свертки - линейную свертку вида:

$$Y(Q) = Y(q_{n_p}) = \sum_{i=1}^n k_i y_i = \sum_{i=1}^n w_i y_i \quad (4.3.39)$$

Коэффициенты  $k_i$  в форме свертки (4.3.39) в силу основной темы проводимого диссертационного исследования являются весовыми коэффициентами влияния  $w_i$  простейших показателей в свертках сводных показателей, т.е.:

$$\{k_i\} \Leftrightarrow \{w_i\}. \quad (4.3.40)$$

Таким образом, в ходе диссертационного исследования обосновано, что конкретизированная математическая форма интегральной свертки значений простейших показателей экономичности разработки проекта ПК управления МКС, как рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки в рамках технологической системы SCRUM, имеет вид:

$$Y(Q) = \sum_{i=1}^n w_i q_i \quad (4.3.41)$$

Управление экономичностью проекта разработки программного комплекса управления МКС сводится к последовательному расчету и минимизации рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО в рамках технологической системы SCRUM, как это в обобщенном виде показано на рисунке 4.3.6. В свою очередь, расчет значений сводных и интегральных показателей оценки таких рисков для проекта создания ПК управления МКС на основе системы показателей  $G$  в соответствии (4.3.41) проводится в следующей последовательности логических шагов:

1. Берется за основу система показателей рекурсивной оценки качества в качестве системы показателей  $G$  для оценки экономичности, как интегрального риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС в рамках технологической системы SCRUM. Определяются

непосредственно весовые коэффициенты влияния  $w_i$  для всей системы показателей;

2. Проводится непосредственная оценка простейших показателей риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПК управления МКС по математической модели, представленной в пп.4.3.2. данного исследования. Они оцениваются путем опросной экспертизы, а итоги представляются в качестве нечетких чисел–термов соответствующей лингвистической переменной;

3. Осуществляется градуирование диапазонов возможных значений сводных и интегральных показателей экономичности с применением аппарата умножения (сложения) нечетких чисел с использованием т.н. «уровневых множеств», что показано в пп.4.3.3. данного исследования.

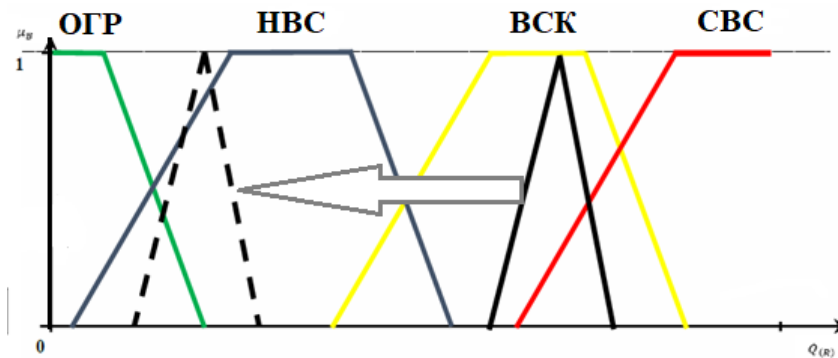


Рисунок 4.3.6. – Существо управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС

4. Реализуется опрос экспертов или эксперта в целях выяснения значений лингвистических переменных вероятности нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО и соответствующего *объема трудозатрат*, для текущего спринта разработки ПК управления МКС. Рассчитываются нечеткие числа значений оценки рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО по простейшим показателям для текущего проекта разработки ПК управления МКС.

5. По формуле свертки простейших показателей оценки рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО (4.3.41)

проводится, на базе алгебраического аппарата уровневых множеств по умножению и сложению нечетких чисел, перерасчет всех значений сводных и интегральных показателей рисков нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО в рамках технологической системы SCRUM, т.е. текущей меры экономичности этой технологической системы. По градациям, рассчитанным согласно п.3 данной методики, формируется вывод о текущем уровне интегрального риска нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО, что интерпретируется как достигнутый уровень экономичности.

Таким образом, предложенный метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС представляет собой научно-методический инструментальный риск-менеджмента трудозатрат проектов разработки соответствующего ПО. При этом суть управления экономичностью заключается в минимизации излишних (необоснованных текущим состоянием разработки, «перестраховочных», неэффективных и пр.) спринтов при разработке ПО в технологической системе SCRUM при обязательном выполнении условия полноты реализации спроектированной функциональности.

#### 4.4. Выводы по IV главе

1. Комплекс моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС является логическим дополнением к методу рекурсивной оценки качества указанных комплексов, конкретизирует и классифицирует понятие «профиля качества для назначенного шага декомпозиции вложенности показателей в системе рекурсивной оценки», но обладает самостоятельным наукометрическим характером. Негативное несоответствие по показателям качества ПК управления МКС есть регистрация факта значительно более низкого значения по отдельному (группе обособленных) независимых показателей в системе показателей оценки качества программного обеспечения этих комплексов. Негативное несоответствие по показателям качества в профиле качества представляет собой выброс текущих оценок в область низких значений.

2. Комплекс моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС следует рассматривать как совокупность логико-математических паттернов для автоматизированного распознавания соответствующих аномалий качества при разработке программного обеспечения указанных ПК. Входными параметрами применения той или иной модели негативного несоответствия по показателям качества могут выступать виды шкал, используемых для оценки качества, а также заданная на них мера. Наличие соответствующего обобщенного паттерна позволяет связать процесс выявления негативных несоответствий по показателям качества с процессом назначения планов (стратегий) совершенствования и улучшения качества текущей версии ПК управления МКС.

3. Стратегия улучшения качества ПУ управления МКС это совокупность, увязанных по целям, методам и средствам реализации, мер и мероприятий по системному улучшению качества указанных программных комплексов в ходе их разработки и программно-технологического совершенствования. Принятие к исполнению новой стратегии улучшения качества ПК управления МКС связано со сменой всей гаммы узко-прикладных приёмов и способов проектирования и

кодирования программного обеспечения. Полный перечень возможных стратегий всегда формируется заблаговременно, в некотором обобщенном, базовом варианте. Столкнувшись в ходе разработки с фактом равномерного по всем показателям системного снижения (не повышения) качества ПК управления МКС, продукт-оунер и скрам-мастер прибегают к ранжированию начального перечня стратегий по степени их влияния на интегральный показатель качества указанных программных комплексов.

4. Предложенный логико-алгоритмический аппарат метода ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС за конечное число этапов прямого и обратного ранжирования позволяет строго упорядочить исходное множество альтернативных стратегий системного улучшения качества ПК управления МКС по приоритетности их влияния на систему сводных и интегральных показателей качества указанных программных комплексов в ходе их разработки и создания.

5. Экономичность проекта разработки ПК управления МКС является базовой составляющей результативности указанного процесса разработки. Она заключается в обоснованной минимизации трудозатрат на указанную разработку при обеспечении в реализации всей полноты заданной функциональности и требуемого уровня безошибочности функционирования (глубины тестирования и отладки). В рамках технологической системы SCRUM мерой указанного объема трудозатрат является итеративность технологического процесса разработки, а именно количество спринтов разработки, выполняемых при данной функциональности ПО для достижения заданного уровня безошибочности. Управление экономичностью – это процесс обоснованного выбора количества спринтов разработки ПО с данным объемом прикладных функций, которое обеспечит требуемо-низкий уровень возможности возникновения ошибки или сбоя в работе разрабатываемого ПК. Целью управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС является решение задачи избегания излишних (необоснованных текущим состоянием разработки, «перестраховочных», неэффективных и пр.) спринтов при

разработке ПО в технологической системе SCRUM при обязательном выполнении условия полноты реализации спроектированной функциональности. Указанная цель была рассмотрена как цель управления рисками необоснованности и неэффективности затрат в процессе реализации проекта разработки сложных программных изделий.

6. Разработанный метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС представляет собой научно-методический инструментальный риск-менеджмента трудозатрат проектов разработки соответствующего ПО. При этом суть управления экономичностью заключается в минимизации излишних спринтов при разработке ПК управления МКС в технологической системе SCRUM при обеспечении полноты реализации спроектированной функциональности. Данный научно-методический инструментальный является полноценным методологическим средством улучшения качества указанных ПК.



## **Глава 5. Реализация проектов по разработке комплексов управления мультikomпонентными системами. Оценка эффективности результатов исследования**

### **5.1. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент программно-аппаратных комплексов управления мультikomпонентными системами**

В практической реализации проектов по разработке ПАК управления МКС в рамках технологической системы SCRUM важны не только вопросы системного и логического определения архитектурных и технологических аспектов качества аппаратной платформы, разрабатываемого ПО, но эффективная выработка конкретных рекомендаций по мерам улучшения качества в текущих условиях протекания технологического процесса. Именно на обеспечение указанной эффективности нацелен метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС, который по своей сути является корректной локализацией метода структурирования функций качества (СФК-метод или, в английской аббревиатуре Quality Function Deployment: QFD-метод [131,132]) на предметную область разработки и создания программно-аппаратных комплексов, программного обеспечения в рамках технологической системы SCRUM.

#### **5.1.1. Специфика применения QFD-метода при разработке ПАК управления МКС**

Объективная ориентированность проектов разработки ПАК управления МКС на нужды и запросы потенциальных и реальных заказчиков диктует необходимость постоянного и непрерывного увязывания технических возможностей создаваемого ПАК с потребностями, определяемыми специалистами предметной области применения группировок летательных аппаратов. Именно этим фактом определяется факт широкого использования инструментария QFD-метода, соответствующих СФК-методик при создании,

указанных ПАК, и прежде всего в рамках технологической системы SCRUM. Вместе с тем, высокая итеративность и частично эмпирический подход к проектированию и развитию возможностей ПО в рамках указанной технологической системы накладывает целый ряд специфических особенностей на применение QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM.

Развертывание или структурирование функций качества при разработке ПАК управления МКС необходимо для логического увязывания (обусловливания) технических, функциональных возможностей создаваемого аппаратного комплекса и программного продукта с ожидаемыми потребностями, которые они призван удовлетворить. Таким образом, структурирование функций качества ПАК управления МКС при разработке - это процесс последовательного и целеобусловленного выявления технических решений, характеристик, свойств и функций разрабатываемых программно-аппаратной платформы и прикладного программного обеспечения через последовательные систематизацию, конкретизацию, локализацию нужд и пожеланий потенциального эксплуатанта указанных комплексов. Этот процесс должен, в конечном итоге, обеспечить такое качество ПАК управления МКС, как программно-аппаратного продукта, что все значимые потребности и ожидания потенциального потребителя будут гарантировано удовлетворены. Детально существо, принципы и основные подходы к практическому применению QFD-метода широко описаны в научной и практической литературе по современной квалитметрии, например, в [131,132].

Базовым инструментарием QFD-метода является многотабличная диаграмма, получившая мнемоническое название «дома качества». Обобщенная структура такой табличной диаграммы, согласно [131], показана на рисунке 5.1.1. Центральным элементом указанной табличной диаграммы является матрица связей между потребностями, требованиями потенциального потребителя ПАК управления МКС и техническими характеристиками создаваемой компоненты технического обеспечения этого комплекса. Помимо матрицы связей в состав диаграммы входит корреляционная матрица, а также массивы отдельно фиксирующейся формализованной информации по

требованиям потенциальных эксплуатантов, трудоемкости, альтернативным решениям и пр.



Рисунок 5.1.1. - Структура базовой многотабличной диаграммы в QFD-методе

Процесс последовательного и целеобусловленного выявления технических решений, характеристик, свойств и функций разрабатываемого прикладного программного обеспечения через последовательные систематизацию, конкретизацию, локализацию нужд и пожеланий потенциального эксплуатанта ПАК управления МКС, как правило, осуществляется в восемь основных этапов:

1. Выявление и конкретизация нужд и пожеланий потенциального эксплуатанта (потребителя) ПАК управления МКС. Указанные пожелания или описания потребностей, как правило, носят не систематизированный, не полный и не точный характер. Очевидно, что такие данные не могут в своем исходном виде служить основой для проектирования и разработки компонент ПАК управления МКС. Именно поэтому на данном этапе производится не только выявление указанных данных, но и их систематизация, дополнение чрез интервьюирование экспертов, семантическое моделирование и пр. Традиционно методической и логико-математической основой для выявления нужд и пожеланий потенциального эксплуатанта (потребителя) ПАК управления МКС выступают процедуры экспертно-статистического оценивания (очного, двухэтапного экспертного опроса, описанного в [2]). Выявленные требования

потенциального эксплуатанта (потребителя) ПАК управления МКС отображаются в матрице связей многотабличной диаграммы QFD-метода;

2. Проведение ранжирования потребительских требований потенциального эксплуатанта ПАК управления МКС. Оно сводится к рейтинговому взвешиванию уровня значимости нужд и пожеланий потенциального эксплуатанта (потребителя) ПАК управления МКС, выявленных на первом этапе. В силу того, что пожелания (требования) потенциального эксплуатанта ПАК управления МКС обладают объективной противоречивостью и удовлетворение их всех одновременно невозможно, то на этом этапе выделяют главные потребительские требования, приоритетные для воплощения в жизнь, и второстепенные, которыми можно в определенной степени пренебречь;

3. Формирование перечня технических решений, характеристик, инженерных свойств и функций, разрабатываемых программно-аппаратной платформы и прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС. Этот этап реализуется всей SCRUM-командой под руководством скрам-мастера. Указанные технические параметры программных компонент для ПК должны быть описаны предельно четко, понятно, определенно и кратко идентифицированы. Аппаратная платформа и состав общесистемного программного обеспечения описываются на уровне конкретной спецификации;

4. Установление логических зависимостей потребительских требований потенциального эксплуатанта и технических решений, характеристик, функций формируемой программно-аппаратной платформы и разрабатываемого прикладного программного обеспечения ПАК управления МКС. По существу, на данном этапе анализируется полнота предполагаемых к реализации функций для удовлетворения всего пула выявленных потребительских требований потенциального эксплуатанта ПАК управления МКС. Также устанавливаются те функциональные возможности, которые не являются запрашиваемыми потенциальным потребителем, но реализация которых необходима для полноценного функционирования ПАК (Например, наличие выделенного сервера моделирования, или обеспечение специализированного взаимодействия онтологии системы с СУБД, и пр.).

Последние функциональные возможности также подлежат реализации в ходе разработки;

5. Установление факта разнонаправленности (противоречивости) планируемых к реализации технических решений, характеристик, инженерных свойств и функций формируемой программно-аппаратной платформы и разрабатываемого прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС, принятых на предыдущих этапах. Устанавливается факт взаимной прямой и обратной зависимости указанных технических решений, что отображается соответствующим образом в треугольной корреляционной матрице базовой многотабличной диаграмме QFD-метода. Это необходимо для учета при оптимизации ПАК управления МКС, как программной системы;

6. Взвешивание технических решений, характеристик, инженерных свойств и функций формируемой программно-аппаратной платформы и разрабатываемого прикладного программного обеспечения в зависимости от соответствующих потребительских требований потенциального эксплуатанта ПАК управления МКС. Результат этого этапа достигается путем последовательного перемножения рангов потребительских требований потенциального эксплуатанта ПАК управления МКС на числовое значение интенсивности связи с соответствующим техническим решением и дальнейшим суммированием результатов перемножения по всему столбцу указанного технического решения. Техническое решение, характеристики или функция ПАК с наибольшим значением, полученного вышеуказанным способом веса, требует наибольшего приоритета при формировании программно-аппаратной платформы и в реализации ППО командой разработчиков в рамках технологической системы SCRUM;

7. Проведение учета функциональных и программно-технологических ограничений. Данный этап вызван к жизни тем фактом, что не все желаемые технические решения, характеристики, инженерные свойства и функции формируемой программно-аппаратной платформы и разрабатываемого прикладного программного обеспечения достижимы. В силу этого в специальной строке базовой многотабличной диаграмме QFD-метода указывают

данные от экспертов о технической полноте реализуемости тех или иных технических решений;

8. Учет данных о конкурентных решениях, представленных как на рынке вычислительной аппаратуры и ПО, так и в проектах альтернативных разработчиков. Данный этап, в целом, носит более экономико-политический характер, чем технический, в силу чего в рамках данного исследования подробно не рассматривается.

В итоге реализации указанных восьми этапов становится возможным получить развернутые, систематизированные и согласованные с потребностями потенциального эксплуатанта ПАК управления МКС первичные данные для проектирования (технического задания или технических условий) каждой из компонент указанного комплекса. Также последовательное построение многотабличных диаграмм QFD-метода на всех этапах разработки и жизненного цикла ПАК управления МКС позволяет эффективно, во взаимосвязи с пожеланиями потенциальных эксплуатантов, принимать решения по улучшению качества программно-аппаратной платформы и прикладного программного обеспечения указанных комплексов. Это, в конечном итоге, позволяет избежать дорогостоящих и трудно прогнозируемых иными методами корректировок в уже воплощенных программно-технических решениях по созданию ПАК управления МКС. А значит, это позволяет сократить необоснованные затраты на разработку соответствующего прикладного программного обеспечения.

#### 5.1.2. Низкая технологичность применения QFD-метода при разработке ПК управления МКС

Существо последовательного применения базовой многотабличной диаграммы QFD-метода в рамках технологического SCRUM-процесса при разработке ПАК управления МКС заключается в обеспечении непрерывной выработки практических рекомендаций по совершенствованию программно-функциональных характеристик текущей версии ПК управления МКС, определяющих потребительские свойства ПАК в целом. Многоэтапный характер

применения многотабличной диаграммы QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM показан на рисунке 5.1.2.

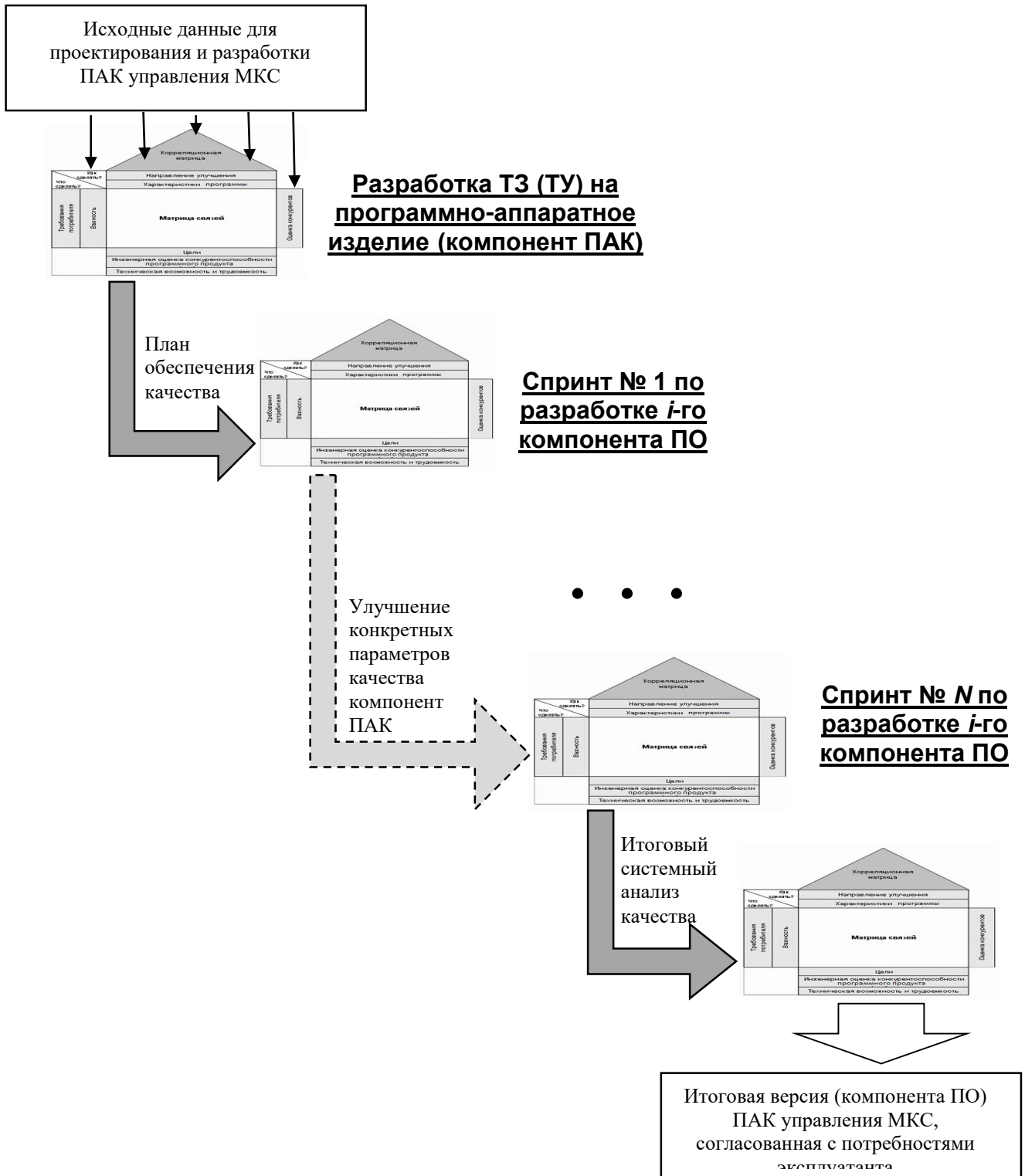


Рисунок 5.1.2. - Многоэтапный характер применения многотабличной диаграммы QFD-метода при создании ПАК управления МКС

Очевидно, что во-многом эмпирический характер определения приоритетов совершенствования качества ПО в рамках технологической системы SCRUM требует построения (корректировки) многотабличной диаграммы QFD-метода при каждом спринте разработки. С учетом трудно прогнозируемого и, как правило, большого числа спринтов  $N$  разработки ПО каждого компонента практическое применение QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM с целью выработки конкретных рекомендаций становится «тяжеловесным», трудозатратным и неэффективным, а в целом, обладает низкой технологичностью практического применения. (В данном случае под технологичностью применения понимается удобство применения, дающее возможность многократной и простой воспроизводимости для нужд разработки и создания ПАК управления МКС). Именно это объективно потребовало разработки узкоспециального научно-методического инструментария выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС на базе QFD-метода, учитывающего специфику создания указанных комплексов, т.е. учитывающих высокий уровень итеративности разработки их прикладной функциональности. Он является развитием и локализацией QFD-метода на предметную область ПАК управления МКС, с учетом специфики разработки их основной прикладной функциональности (т.е. ППО, прежде всего) в рамках технологической системы SCRUM. Такой научно-методический инструментарий, развивающий квалиметрические методы для гибкой методологии разработки ПО, может быть в дальнейшем использован в качестве методологической основы для конкретизированных методик инженеров-системотехников, специалистов по контролю качества при создании указанных ПАК и соответствующих приборных систем.

При этом вопросы формирования аппаратной платформы и общесистемного программного обеспечения в силу их тривиальности отнесены к менее значимым, чем рассмотрение вопросов разработки основной прикладной функциональности, т.е. вопросы разработки ППО в рамках SCRUM-технологии.



### 5.1.3. Локализация QFD-метода на предметную область ПАК управления МКС

QFD-метод нашел достаточно широкое применение при создании программного обеспечения в различных технологических парадигмах разработки [41], но это не относится к технологической системе SCRUM. Высокая итеративность этой технологической системы разработки ППО плохо сочетается с высокой трудоемкостью получения базовой многотабличной диаграммы и методологической громоздкостью многоэтапного характера применения такой диаграммы QFD-метода. Согласно [122, 131,132] при непосредственной интеграции средств QFD-метода в рамки технологической системы SCRUM при разработке ПАК управления МКС необходимо отдельно строить и наполнять оценочными данными полную многотабличную диаграмму. Пример такого заполнения показан на рисунке 5.1.3. Очевидно, что в силу большого числа спринтов разработки ПАК управления МКС в рамках технологической системы SCRUM, суммарная трудоемкость работ по развертыванию функций качества, с целью выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент, становится сравнима с трудоемкостью работ по самой разработке программного кода указанных компонент.

Таким образом, непосредственное применение QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM для выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС не представляется рациональным и эффективным. Алгоритм формирования базовой многотабличной диаграммы является «тяжеловесным» для высоко итеративной SCRUM-технологии разработки программного обеспечения. Этот факт говорит о необходимости модернизации (модификации) алгоритма формирования базовой многотабличной диаграммы и общего алгоритма применения QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПАК управления МКС для решения частной задачи выработки конкретизированных рекомендаций по обеспечению качества обособленных

компонент указанных комплексов (т.е. компонент как аппаратной платформы, так и программного обеспечения).

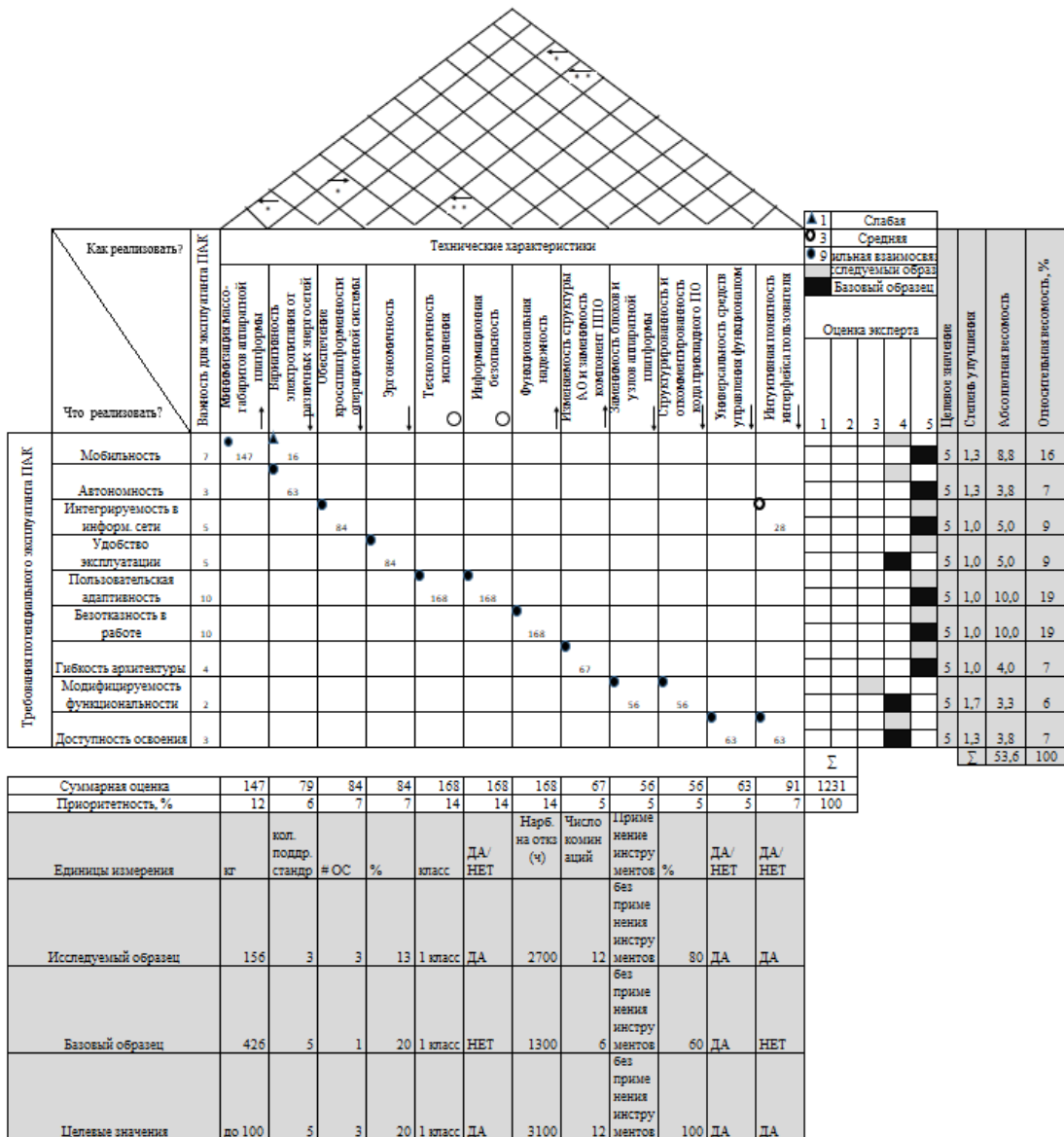


Рисунок 5.1.3. - Пример заполнения оценочными данными полной многотабличной диаграммы QFD-метода при разработке ПКАК

Целью такой модернизации является снижение общей «громоздкости и тяжеловесности» процедур QFD-анализа при раскрытии и детализации требований качества в конкретные технические характеристики соответствующих программных и аппаратных компонент ПКАК путем выработки конкретизирующих рекомендаций. Указанная модернизация в рамках предлагаемого метода выработки рекомендаций по обеспечению качества

обособленных компонент ПАК управления МКС основана на применении теории страт и стратифицированного представления [94] к процессу структурирования и детализации функций качества указанных комплексов. При этом, вся исходная совокупность функций качества  $\tilde{D}$  рассматривается как множество:

$$\tilde{D} = \langle S, H \rangle \quad (5.1.1)$$

где  $S$  – подмножество всех основных прикладных функций создаваемого ПАК управления МКС, устанавливаемых путем экспертизы или в рамках соответствующих ТЗ ;

$H$  - подмножество логических отношений упорядочения (строгого порядка) между основными прикладными функциями создаваемого ПАК управления МКС.

Из аналитического описания множества (5.1.1) очевидно, что именно исходная совокупность функций качества детализируется до итоговой совокупности всех технических характеристик  $\tilde{X}$  проекта ПАК управления МКС, т.е. именно эта совокупность задает граничные условия для стратификации функций качества:

$$\tilde{D} = \tilde{X} \quad (5.1.2)$$

Иными словами, всё множество функций качества, детализирующих их подфункций и частных характеристик идентифицированных в  $\tilde{D}$  должны быть, в конечном итоге, отражены в совокупность контролируемых технических характеристик создаваемого ПАК.

В свою очередь, подмножество всех основных прикладных функций создаваемого ПАК управления МКС  $S$  включает в свой состав страты-описания соответствующих подфункций, уточняемых свойств  $\{\tilde{s}_i\}$ . В частности, отдельные функции качества из  $\tilde{D}$  могут поясняться некоторыми детализирующими данными

$$s_i \in \{\tilde{s}_i\}, \quad (5.1.3)$$

отвечающими задачам более частных технических характеристик создаваемого ПАК или его отдельных компонент. Итоговые частные

подфункции из состава функций  $\tilde{D}$  есть не разлагаемые далее функции, т.е. далее не структурируемые подфункции, уточняемые свойства из  $\{s_i\}$ . Следовательно, исходная совокупность функций качества  $\tilde{D}$  может быть рассмотрена как многоуровневое стратифицированное семейство структурированных множеств конкретных технических характеристик создаваемого ПАК управления МКС, а также методов и средств достижения требуемых параметров указанных технических характеристик. В целях полноценной реализации такого рассмотрения исходная совокупность функций качества  $\tilde{D}$  представляется в стратифицированном виде, как это описано в [41,122]. Аналитически это утверждение означает возможность представления выражения (5.1.1) в виде стратифицированного множественного уравнения:

$$\tilde{D} = \langle \{s_i(g_1, g_2, \dots, g_n)\}, H \rangle \quad (5.1.4)$$

где  $\{s_i(g_1, g_2, \dots, g_n)\}$  - подмножество стратифицированных до технических характеристик основных прикладных функций создаваемого ПАК управления МКС;

$n$  - максимальное число предусматриваемых страт-технических характеристик;

$H$  - множество систематизированных логических отношений упорядочения (строгого порядка) между основными техническими характеристиками для прикладных функций создаваемого ПАК управления МКС, а также методов и средств достижения требуемых параметров указанных технических характеристик.

На основании соотношений (5.1.2) и (5.1.4) для итоговой совокупности всех технических характеристик  $\tilde{X}$  проекта ПАК управления МКС в стратифицированном представлении справедливо соотношение

$$\tilde{X} = \langle \{s_i(g_1, g_2, \dots, g_n)\}, H \rangle. \quad (5.1.5)$$

Таким образом, состав стратифицированных функций и ассоциированных с ними страт-технических характеристик основных прикладных функций создаваемого ПАК управления МКС  $\{s_i\}$ , а соответственно и рекомендаций по

обеспечению качества обособленных компонент таких комплексов, в разработанном методе обосновывается путем установления полного перечня методов и средств реализации всех функций качества из множества  $\tilde{D}$ . Тогда выработка текущих рекомендаций по обеспечению качества есть выбор по  $\{s_i\}$  наиболее эффективных методов и средств достижения требуемого качества текущего образца ПАК управления МКС.

Модернизация алгоритма применения QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПАК управления МКС для решения частной задачи выработки конкретизированных рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент указанных комплексов сводится к биматричному представлению многотабличной диаграммы рассматриваемого метода квалиметрии при разработке ПАК. Это означает, что многотабличная диаграмма QFD-метода при разработке ПАК управления МКС разрабатывается лишь изначально, на первом этапе создания либо самого комплекса, либо его важной функциональной составной части. Далее на её базе создается и упрощенный вариант многотабличной QFD-диаграммы в рамках которой в матрице связей проставляется не значения меры интенсивности связей между пользовательскими требованиями и техническими характеристиками ПАК управления МКС, а ссылки на соответствующие вспомогательные матрицы устанавливающие, в свою очередь, логические связи-описания между средствами и методами совершенствования соответствующих технических характеристик. Пример такого варианта многотабличной QFD-диаграммы показан на рисунке 5.1.4., а пример связанной с ней одной из вспомогательных матриц приведен в таблице 5.1.1.

Предлагаемая система многотабличной QFD-диаграммы формируется на предприятиях разработчиках ПАК управления МКС в ходе институционального совершенствования технологической системы SCRUM. Очевидно, что каждый новый проект создания ПАК управления МКС наследует определенные технические и технологические решения от своих предшественников, составляющие технологический стиль того или иного предприятия. Как правило,

инновационные решения в разработке новых проектов составляют 30-40 % от общего числа применяемых решений. В силу этого факта при старте нового проекта создания ПАК управления МКС производится первоначальное формирование полной QFD-диаграммы, а далее для различных функционально-самостоятельных составных частей, компонентов формируется система многотабличной облегченной QFD-диаграммы с соответствующими уточняющими подматрицами.

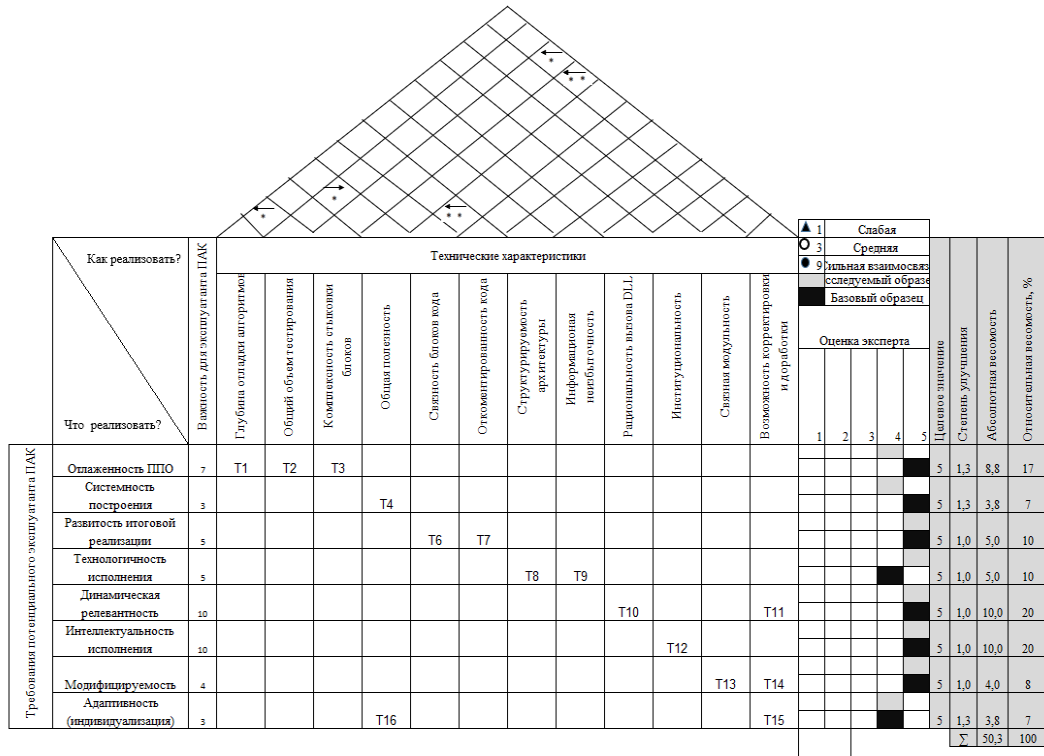


Рисунок 5.1.4. – Пример модифицированной диаграммы QFD-метода с биматрицей связей для разработки ПАК управления МКС

Выработка рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС на основе модифицированной диаграммы QFD-метода с биматрицей связей с вспомогательными матрицами осуществляется путем последовательного логического перехода из матрицы связей в соответствующую вспомогательную матрицу и обоснованного выбора наилучшего методического средства и метода улучшения качества по соответствующей технической характеристике, для удовлетворения текущего пользовательского требования.

Таблица 5.1.1. – Пример вспомогательной матрицы, связанной с позицией T15 в матрице связей модифицированной диаграммы QFD-метода

(" + !" -достигает роста качества эффективнее, чем другие методы этой группы, " + "- в целом достигает роста качества, " – " достигает роста качества менее эффективно, чем другие методы этой группы)

T15	Аппаратная платформа			Общесистемное программное обеспечение			Прикладное программное обеспечение						Интенсивность проявления
	Изменение архитектуры	Компонентное замещение составных частей (блоков)	Наращивание ресурсов вычислительной подсистемы	Обеспечение кроссплатформенности ОС	Конфигурирование ОС и СУБД	Пересмотр объема и структуры DLL	Пересмотр структуры классов	Пересмотр баз маг. функций	Перепрограммирование процедур	Переконфигурирование систем интерфейсов IP	Виртуализация основных ресурсов и БД	Углубленное тестирование и перестыковка	
<u>Гибкость структуры</u>													
1.Стандартизация интерфейсов	-	+!	+	+!	+!	-	-	-	+	+!	+!	+	Высокая
2.Типизация компонент	-	+!	+	-	-	+!	+!	+	+!	+	+!	+!	Средняя
3.Дублирование	+	+	+!	+	-	+!	+!	+	+!	+!	+!	+!	Средняя
<u>Интеллектуальность</u>													
1.Привнесение ИИ	+!	-	+!	+!	+	-	+!	-	+	+!	-	+	Высокая
2.Информационная избыточность	+	+	+!	+	-	-	+!	+	+	+	+!	+	Низкая
<u>Настраиваемость</u>													
1.Обеспечение возможности настройки параметров	-	+!	-	+!	+!	+	+!	+	-	+	+!	+	Высокая
2.Изменяемость системы по входным данным	+	+!	+!	+!	+!	+!	+!	-	+!	+!	+!	+!	Средняя
<u>Вариабельность.</u>													
1.Возможность реинжиниринга	+	+!	+	+	+!	+!	+!	+	+!	+	+!	+!	Низкая
2.Экспертируемость	+	+!	-	+!	+	+!	+	+!	+!	+!	+!	+!	Низкая
<u>Робастость</u>													
1.Регидность	+	-	+	+	+	+	+!	+	+!	+!	+!	+	Средняя
2.Наличие контроля	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+!	+	+!	Низкая

#### 5.1.4. Последовательность этапов выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС

В рамках предлагаемого метода выработка рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС осуществляется в следующей последовательности укрупненных этапов:

1.)Формирование в ходе институционального совершенствования технологической системы SCRUM при разработках ПАК управления МКС систематизированных знаний о предпочтительности различных методов и средств совершенствования качества указанных комплексов по отдельным показателям;

2.)Осуществление первичной разработки многотабличной диаграммы QFD-метода при начале работ по созданию текущего проекта ПАК управления МКС: установление системы пользовательских требований и общих технических характеристик, которым должен удовлетворять создаваемый комплекс;

3.)Формирование, на основании данных по п.1.), подсистемы вспомогательных таблиц для модифицированной диаграммы QFD-метода, отражающей логическую связь рациональной предпочтительности применения соответствующих методов и средств совершенствования качества ПАК управления МКС в зависимости от совершенствуемых технических характеристик и удовлетворяемых требований пользователя указанных комплексов;

4.)Непосредственное предоставление модифицированной диаграммы QFD-метода с подсистемой вспомогательных таблиц как инструментария инженеров-системотехников (скрам-мастера, продукт-оунера и пр.), специалистов по контролю качества для выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС при создании указанных комплексов и соответствующих приборных систем в рамках SCRUM.

5.)Учет результатов реализации вырабатываемых рекомендаций в ходе институционального совершенствования технологической системы SCRUM.



## 5.2. Диссертационный эксперимент и проверка результатов исследования

### 5.2.1 Структура диссертационного эксперимента

Диссертационный эксперимент проведен как многоэтапная и многоуровневая апробация разработанных методов и других методологических средств в качестве методологической основы для инструментария инженеров-системотехников, специалистов по контролю качества при создании ПАК управления МКС, в рамках развития прикладных квалиметрических методик для гибкой методологии разработки технологической системы SCRUM на профильном научно-промышленном предприятии авиационного приборостроения. Указанным предприятием явилось Акционерное Общество «Центральное научно-производственное объединение «Ленинец» (г. Санкт-Петербург) – один из лидеров страны в создании систем авиационных роботов и программно-аппаратных комплексов управления группировками МКС.

Выше указанная апробация, включавшая в себя также анализ и качественно-количественную оценку проведенного экспериментирования, проводилась на трех уровнях абстрагирования и представления процессов разработки ПАК управления МКС и их составных частей в рамках технологической системы SCRUM: качественно-количественном, количественном и натурном. Для каждого из указанных уровней характерны соответствующие методы моделирования и оценки результата, различная суть формулируемых выводов. Логическая структура взаимосвязи уровней проведенного диссертационного эксперимента показана на рисунке 5.2.1. При этом предполагалась следующая постановка диссертационного эксперимента:

- Цель эксперимента: выявить достигаемое улучшение качества создаваемых ПАК управления МКС за счет применения обобщающей концепции и предлагаемого научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы SCRUM, внедренной на рассмотренном модельном научно-производственном предприятии.

- Контрастными альтернативами для разработанных концепции и методологического инструментария выступили:

1. Квалиметрические средства методологии инженерно-экономического проектирования программно-аппаратных систем на основе метрики Б.Боэма, уточненные и развитые для процессов технологической системы SCRUM в работах С. Мак-Коннела, Д.Сазерленда и др. [8,97,74, 122,123];

2. Система менеджмента и контроля качества, реализуемая традиционными средствами на базе методик ГОСТ Р ИСО 90002015, ГОСТ Р ИСО 9001-2015, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 910-2002, ГОСТ 34 серии (АСУ), ГОСТ ЕСПД, ГОСТ ЕСКД и др. [14,20,21,25,27].

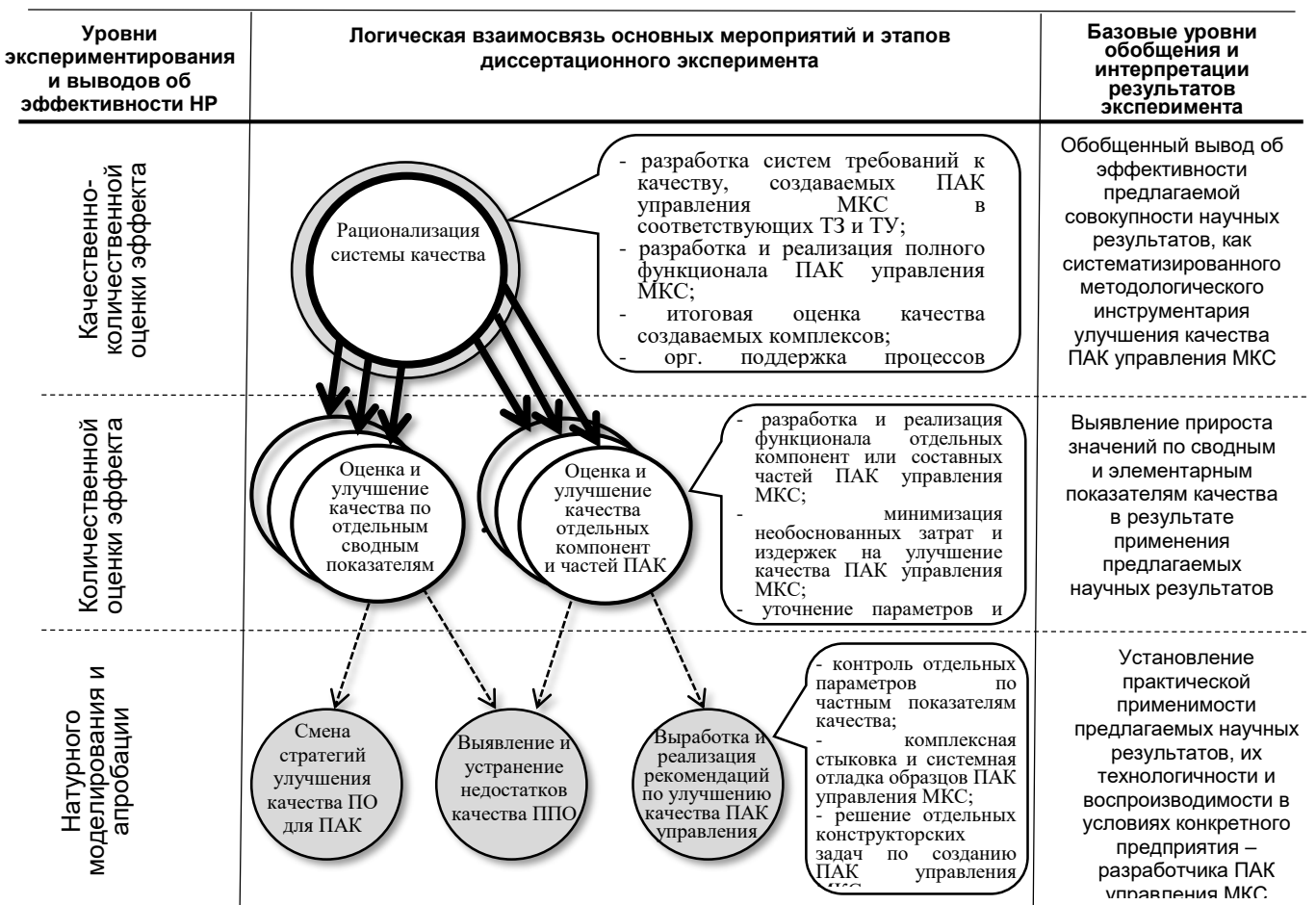


Рисунок 5.2.1.- Логическая структура диссертационного эксперимента

Соответственно, эксперимент проводился в процессе реализации процедур контроля и улучшения качества систем управления движением группировок и групп беспилотных воздушных судов в АО «ЦНПО «Ленинец». При этом

разработка программного обеспечения для указанных систем производилась в рамках технологической системы SCRUM.

Апробационная проверка разработанных научных результатов и последовательный анализ прироста качества создаваемого ПАК управления МКС производился с использованием элементов натурального моделирования процессов управления отдельными элементами МКС, имитационно-статистического моделирования процессов управления группировкой указанных аппаратов, последовательно: для аппаратного и программного обеспечения. Эффект от применения предлагаемого инструментария выявлялся, прежде всего, от использования его в рамках технологической системы SCRUM при разработке соответствующего ПК. При этом, прирост выявлялся последовательно на 8 спринтах разработки с учетом требований статистической значимости выявляемого значения по отношению к точности метода оценки.

#### 5.2.2. Сведение и предметная интерпретация общих результатов экспериментирования

На качественно-количественном уровне проведенного диссертационного эксперимента сведение и обобщение результатов позволили сделать вывод о том, что предложенный методологически целостный аппарат оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания ПК для ПАК пространственного управления МКС, позволяет добиться улучшения этого качества путем совершенствования квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки программного обеспечения. Этот вывод подтверждается следующими выявленными конструктивно-новыми свойствами технологического процесса разработки и создания ПАК управления МКС, формируемыми за счет применения предложенных обобщающей концепции улучшения качества указанных комплексов и предлагаемого научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы SCRUM:

1. Придание системного характера процессу контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления разнородными роботизированными авиационными группировками в рамках высоко итеративной технологической системы SCRUM;

2. Формирование единой методологической основы для предъявления системных требований к качеству ПАК управления МКС на этапах проектирования, разработки и создания в виде соответствующего пула (базиса) обобщенных требований, которые уточняются по мере разработки комплекса;

3. Гармонизация учета многоуровневости и сложной вложенности простейших показателей в сводные, более простых сводных в более сложные сводные (в т.ч. интегральный) показатели ПК управления МКС при проведении рекурсивной оценки их качества, что обеспечило повышение её производительности, технологичности (практической применимости) и эффективности в рамках технологической системы SCRUM;

4. Обеспечение практической интерпретируемости результатов рекурсивного оценивания качества ПК управления МКС посредством специализированных методико-технологических инструментов (средств), таких как: коллекция аномалий качества указанных комплексов и паттернов стратегий улучшения этого качества;

5. Предложение прикладных инструментов для снижения риска необоснованных затрат трудоемкости и ресурсов на совершенствование программного обеспечения рассматриваемых ПАК и для обоснованной выработки практических рекомендаций по улучшению качества текущей версии создаваемого комплекса;

6. Достижение необходимого уровня общности и универсальности разработанного методологического инструментария;

7. Логическое обуславливание и взаимосвязь всех компонент-элементов предлагаемого методологического инструментария.

Указанные конструктивно-новые свойства, по существу, описывают эффект от применения предлагаемого методологического инструментария на качественном уровне.

Также на качественно-количественном уровне экспериментирования реализовано сравнение (сравнительный анализ) разработанных концепции и методологического инструментария с вышеописанными контрастными альтернативами. Результаты этого сравнения показаны в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1. – Итоги сравнения возможностей предложенного методологического инструментария и альтернативных методов

Критерии сравнительного анализа, применяемые в ходе диссертационного эксперимента	Значение принятой меры	Ср. методологии инженерно-экономического проектирования программно-аппаратных систем на основе метрики Б.Бозма, уточненные для процессов технологической системы SCRUM	Система менеджмента и контроля качества, реализуемая традиционными средствами на базе методик ГОСТ Р ИСО 9000-2015, ГОСТ Р ИСО 9001-2015, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 910-2002, и др.	Методы и средства улучшения качества комплексов пространственного управления группировками элементов МКС, разработанные в диссертационном исследовании
Целостно-системный характер охвата технологии SCRUM-разработки	Да/ Нет	Нет	Нет	Да
Обеспечение представительности и технологичности в оценке качества	Да/ Нет	Нет	Да	Да
Широкая применимость и простота автоматизации прикладных методик	Да/ Нет	Да	Нет	Да
Максимальный порог многоуровневости системы показателей качества	К-во уров ней	2-4	2	Неограниченно
Наличие возможностей оперирования с отличимыми видами шкал оценки элементарных показателей: – шкалы номинальные (шкалы лингвистич. переменных); – шкалы ординальные; – шкалы бальные; – шкалы вещественных чисел; – шкалы нормировано-вещественные.	- (+) - (+) - (+) - (+) - (+)	- - + + +	- + - + -	+ + + + +
Возможность применения разных математических форм сверток элементарных показателей в сводные	К-во наим	Линейная	Линейная	Аддитивная, Линейная, Мультипликативная, Аддитивно-мультипликативная.
Простота предметной интерпретируемости результатов оценки и поиска аномалий качества	Вск/ Низк	Низкая	Низкая	Высокая
Характеристика технологии по уровню трудоемкости поиска аномалий качества ПАК	Уров ень	Обычный	Повышенный	Низкий
Логико-математическая сложность реализуемого аппарата («тяжеловесность реализации методологического аппарата»)	Уров ень	Повышенный	Обычный	Обычный

Приведенные итоги сравнения возможностей предложенного методологического инструментария и альтернативных методов позволяют сделать заключение об эффективности разработанных научных результатов на качественно-количественном уровне их рассмотрения в эксперименте.

### 5.3. Оценка эффективности научных результатов исследования

#### 5.3.1. Постановка частной исследовательской задачи экспериментального имитационно-статистического моделирования

Оценка эффективности полученных научных результатов, как результатов исследования, выносимых на защиту, выполнена в границах вышеописанного эксперимента. Этот эксперимент, как показано на рисунке 5.2.1., на уровне количественной оценки эффекта от применения предлагаемых научных результатов, реализован с применением методов и программных средств имитационно-статистического моделирования технологической системы SCRUM создания программно-аппаратных комплексов управления МКС, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения.

Обобщенным (интегрально-сводным) показателем эффективности, согласно которого принимались изменения в ходе логико-статистического, математического моделирования выступала результативность технологической системы гибкой разработки программных комплексов при улучшении качества ПАК управления МКС, а её уточняющими, развертывающими показателями явились составляющие, согласно [13,64]. Суть этого развернутого уточнения показана в таблице 5.3.1.

Моделирование выполнено по структуре вычислительного подэксперимента, предусматривающей следующую последовательность шагов:

- 1) формализацию основных сущностных этапов управления качеством компонент прикладного программного обеспечения (как основных носителей предметно-обусловленной функциональности) для ПАК управления МКС. Указанные компоненты являются составными частями соответствующих ПК. Дальнейшее отображение указанных этапов в соответствующей нотации программного моделирования в выбранной среде имитационно-статистического реинжиниринга по 2-м конкурирующим вариантам:

- 1 вариант, представляющий только традиционные организационные и методические средства контроля и управления качеством ПО согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2015, ГОСТ Р ИСО 9001-2015, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 910-2002;

- 2 вариант, реализующий методы и средства улучшения качества комплексов пространственного управления группировками МКС, разработанные в данном диссертационном исследовании;

2) регистрация и интерпретация изменений учитываемых при оценке эффективности параметров результативности технологической системы гибкой разработки программных комплексов для ПАК управления МКС;

3) итоговый анализ результатов эксперимента и сравнение выявленных тенденций в управлении качеством компонент прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС при их разработке в рамках технологической системы SCRUM как с использованием только традиционных организационных и методических средств контроля и управления качеством ПО, так и с использованием методов и средств улучшения качества указанных комплексов, разработанных в данном диссертационном исследовании.

В процессе синтеза плана вычислительного подэксперимента, логико-статистического моделирования был использован личный опыт автора в разработке, управлении качеством и совершенствовании различных компонент ПАК управления МКС, полученный в ходе работ по созданию программного обеспечения для программно-аппаратных комплексов управления МКС вертолетного типа БВС в Акционерном обществе «Центральное научно-производственное объединение «Ленинец» (АО «ЦНПО «Ленинец»)), а также его опыт сотрудничества по соответствующей квалиметрической тематике с другими предприятиями приборостроительной отрасли РФ, представленными в Санкт-Петербурге. В результате, в рамках избранной схемы вычислительного эксперимента была построена имитационная модель всех основных операций контроля и управления качеством ПО для ПАК управления МКС в технологической системе, организованной по методологии SCRUM.

Таблица 5.3.1 – Детализирующее представление элементов результативности технологической системы гибкой разработки программного обеспечения для ПАК управления МКС

№ п/п	Элементы составляющие результативность технологической системы гибкой разработки программных комплексов для ПАК управления МКС согласно [64]	Интерпретация элементов результативности в терминологическом базисе ГОСТ Р ИСО 25010 -2015; ГОСТ Р 27000 -2015; для достижения целей эксперимента	Способ оценивания и выявления эффекта от конкурирующих вариантов в процессе моделирования, детализированный критерий эффективности
1.	<b>Экономичность</b>	Экономичность процесса разработки и создания прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС	Минимизация вероятности нецелесообразности трудозатрат текущего спринта разработки ПО (риска возникновения неэффективных трудозатрат при разработке и совершенствовании компонент ПО)
2.	<b>Прибыльность</b>	Практическая эффективность технологии проектирования и реализации ПАК	Снижение среднего числа спринтов разработки, необходимых для полноценной реализации компонента ПО, воплощающего одну частную прикладную функцию (прикладную задачу).
3.	<b>Производительность</b>	Количество реализуемых действий (операций) по устранению системных ошибок при создании и отладке ПАК управления МКС в единицу времени	Увеличение среднестатистического количества выявляемых и устраняемых системных ошибок при стыковке и отладке компонент в составе ПАК управления МКС в единицу времени.
4.	<b>Действенность</b>	Недопущение возникновения сбоев/отказов в функциональности программных компонент при росте сложности решаемых задач	Снижение вероятности возникновения ошибки при росте числа строк исполняемого программного кода
5.	<b>Условия трудовой деятельности</b>	Отлаженность архитектуры; Общая полезность	Выводимые, сложные показатели, оцениваются качественно на уровне экспертных заключений
6.	<b>Нововведения</b>	Инновационный характер; Робастость; Системность построения.	Выводимые, сложные показатели, оцениваются качественно на уровне экспертных заключений

Имитационная модель была разработана в графической среде моделирования AnyLogic (Пакет 8.5.1 от 01.10.2019) в нотации IDEF- Integration Definition for Function Modeling. Обобщенная функциональная структура разработанной имитационной модели управления качеством в технологической



системе SCRUM гибкой разработки программных комплексов ПАК управления МКС согласно нотации обозначений IDEF показана на рисунке 5.3.1.

Факт успешности или не успешности выполнения каждого из этапов технологического процесса разработки компонент ППО для ПАК управления МКС моделировался с использованием метода Монте-Карло (т.е. каждый элементарное разыгрывание осуществлялось по данному методу с использованием случайной генерации чисел), а итоговые результаты статистического накопления итогов моделирования обработаны с применением пакета MathCAD 14 Full.

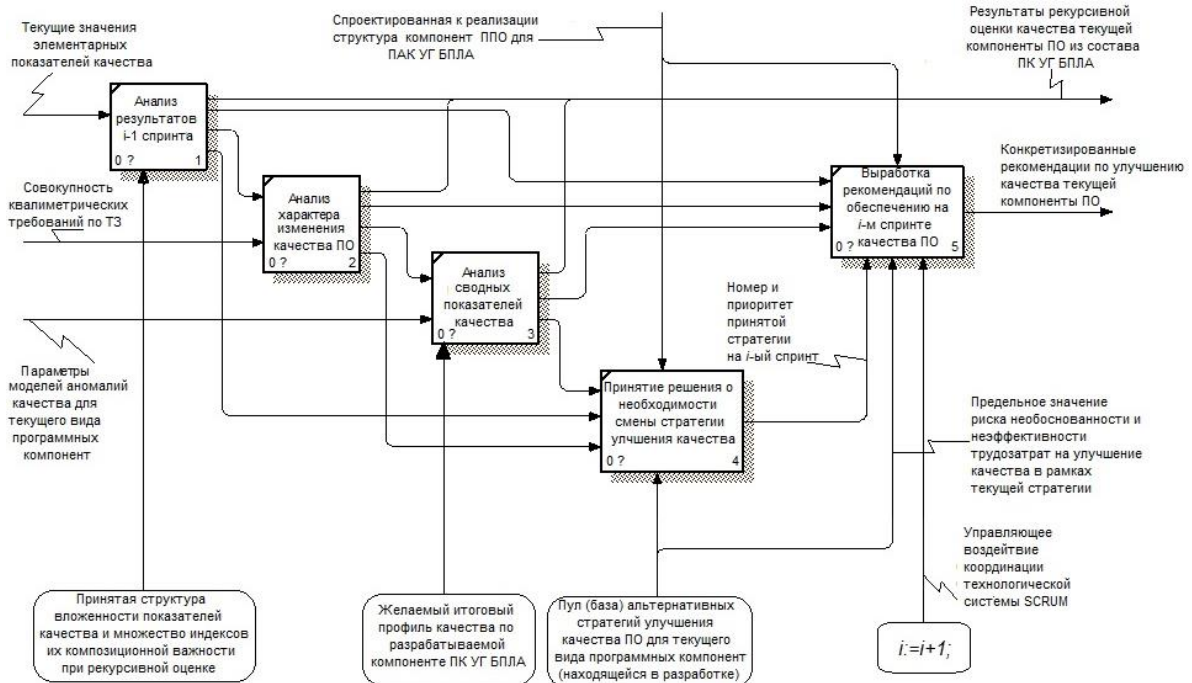


Рисунок 5.3.1. – Структура имитационной модели управления качеством в технологической системе SCRUM разработки ПО для ПАК управления МКС

На базе указанной имитационной модели управления качеством в технологической системе SCRUM разработки программных комплексов ПАК управления МКС был осуществлен статистико-вычислительный эксперимент, позволивший количественно оценить эффект от разработанных методов и методологических средств. Статистико-алгебраическая суть вычислительного эксперимента заключалась в проведении для каждого из конкурирующих вариантов последовательных актов (не менее 10) с количеством

испытаний от 1000 до 10 000 розыгрышей типа: «успешное выполнение функции/ не успешное выполнение функции» на каждом элементе структуры имитационной модели.

В результате статистического имитационного эксперимента осуществлено решение таких частных задач:

1. Воплощено в жизнь имитационно-статистическое моделирование ранее приведенных конкурирующих вариантов на базе имитационной модели управления качеством в технологической системе SCRUM разработки программных комплексов ПАК управления МКС;

2. Сделано последовательное сравнение соответствующих показателей результативности приведенных конкурирующих вариантов по изменяющимся возможностям обеспечения качества в технологической системе гибкой разработки программных комплексов для ПАК управления МКС;

3. Подытожено оценивание и сущностная интерпретация выявленного эффекта от применения разработанных методов и методологических средств. Это дало возможность изложить сводные выводы по итогам проведенной оценки эффективности.

Таким образом, оценка эффективности разработанных методов и методологических средств улучшения качества комплексов управления МКС количественно проводилась с применением качественной интерпретации регистрируемого в ходе имитационного моделирования эффекта по заранее определенным показателям результативности технологической системы создания программного обеспечения для ПАК управления МКС.

#### 5.2.2. Результаты оценки эффективности разработанных методов и методологических средств

Результаты оценки эффективности разработанных методов и методологических средств даны ниже применительно к предметной интерпретации элементов результативности технологической системы гибкой разработки программного обеспечения для ПАК управления МКС в виде

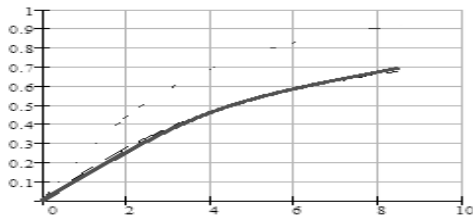
указанных в таблице 3.5.1., измеряемых при проведении статистического эксперимента, показателей. К таковым результатам следует отнести таковые:

1. Уменьшение вероятности возникновения нецелесообразных трудозатрат текущего спринта разработки ПО (риска возникновения неэффективных трудозатрат при разработке и совершенствовании компонент ПО), определяемое как отношение числа исходов моделирования реализации функциональности имитационной модели управления качеством в технологической системе SCRUM разработки программных комплексов ПАК управления МКС приведших к росту интегрального показателя качества текущей программной компоненты к общему числу единичных испытаний.

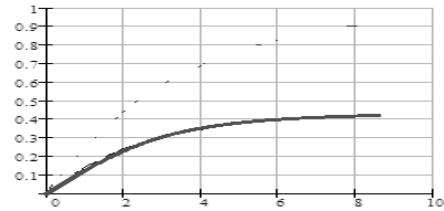
Проведенные последовательные интерполяция и сглаживание зависимости указанной вероятности от количества спринтов разработки (совершенствования) итогового программного кода одной типовой компоненты (составной части) ПК управления МКС с повышенной сложностью реализации позволили представить их в виде графиков на рисунке 5.3.2. При этом на рисунке 5.3.2. А) показаны результаты моделирования процесса разработки без использования предложенных методов и методологических средств улучшения качества, а на рисунке 5.3.2 Б) результаты моделирования, учитывающие использование указанных методов и средств, как инструментов оперативного целеполагания в управлении качеством создаваемых ПАК.

Сравнительный анализ приведенных на рисунке 5.3.2 результатов моделирования показывает, что применение разработанных методов и методологических средств улучшения качества ПАК управления МКС позволяет добиться уменьшения вероятности возникновения нецелесообразных трудозатрат текущего спринта разработки программного обеспечения для указанных комплексов более чем на  $1/3$  (т.е. более чем на 30%), что говорит о значимом эффекте по данному показателю, превышающему погрешность метода оценки таких вероятностных значений.

Очевидно, что эффект становится всё более значим по мере роста числа спринтов, ориентированных на достижение реализации одной и той же прикладной функциональности.



А) С применением традиционных методов и средств улучшения качества



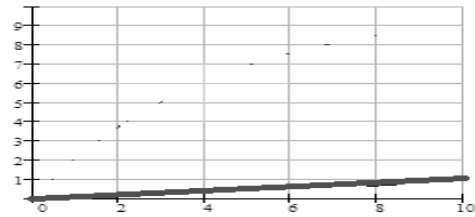
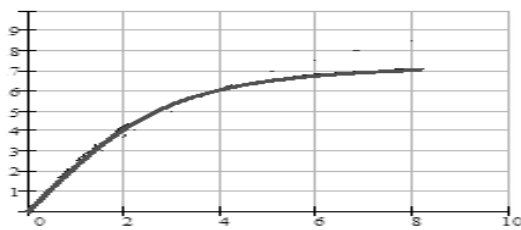
Б) С применением предлагаемых методов и средств улучшения качества

Рисунок 5.3.2. – Результаты моделирования вероятности возникновения нецелесообразных трудозатрат текущего спринта разработки ПО для ПАК

В целом, проведенное исследовательское моделирование значений описанного показателя с вероятностной мерой показало, что указанный эффект значительно зависит от уровня сложности и объемности кода той программной компоненты (составной части) ПК управления МКС, которая учитывается в вычислительном эксперименте.

2. Уменьшение среднестатистического числа спринтов разработки (совершенствования) необходимых для полноценного формирования прикладной функциональности программного компонента. Результаты сравнения по итогам интерполяции результатов моделирования по этому показателю приведены на рисунке 5.3.3. На этом рисунке по оси абсцисс откладывается количество строк кода в совершенствуемой компоненте ПК управления МКС в сотнях строк программного кода высокого уровня, а по оси ординат среднестатистическое число спринтов необходимых для полноценного формирования спроектированной прикладной функциональности создаваемой компоненты. Эффект от использования разработанных методов и методологических средств улучшения качества ПАК управления МКС очевиден при анализе кривых А) и Б) рисунка 5.3.3. Указанные кривые свидетельствуют, что в рассматриваемом диапазоне сложности реализации программных компонент ПК управления МКС (косвенно соотносится с рассматриваемым числом строк программного кода в компоненте) использование предложенных методов и методологических средств в рамках технологической системы SCRUM как средств текущего, оперативного целеполагания для процессов

совершенствования качества дает очевидно значимый эффект, т.е. на практике систематизированная и целенаправленная реализация программных компонент ПК управления МКС емкостью до тысячи строк кода, как правило, будет реализовываться в рамках одного спринта разработки. Отсутствие же средств системного целеполагания в SCRUM-разработке чревато необходимостью возврата и доработки программного кода относительно несложных компонент на протяжении ряда спринтов в ходе процесса создания ПАК управления МКС.

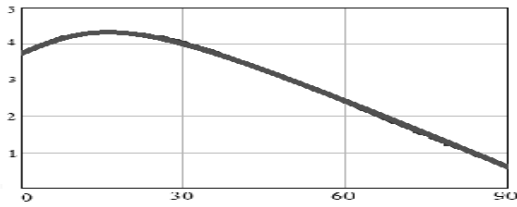


А) С применением традиционных методов и средств улучшения качества

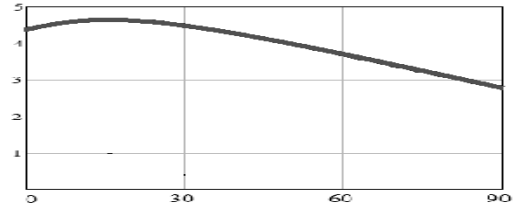
Б) С применением предлагаемых методов и средств улучшения качества

Рисунок 5.3.3. – Результаты моделирования среднестатистического числа спринтов разработки ПО, необходимых для формирования прикладной функциональности программного компонента

3. Нарращивание среднестатистического количества выявляемых и устраняемых системных ошибок (т.е. ошибок не присущих ни одной компоненте в отдельности, но проявляющейся при работе комплекса в целом) при стыковке и отладке компонент в составе ПАК управления МКС в единицу времени. Результаты сравнения по итогам интерполяции результатов моделирования по этому показателю приведены на рисунке 5.3.4. На этом рисунке показана зависимость среднестатистического количества выявляемых и устраняемых системных ошибок при стыковке и отладке компонент в составе ПАК управления МКС в единицу времени (показано по оси ординат в размерности единиц устанавливаемых и устраняемых системных ошибок за один человеко-день работы программиста-кодировщика или инженера-настройщика) в зависимости от количества составных частей (компонент) ПАК занятых в текущей задаче комплексной стыковки, настройки и регулировки (в том числе и компоненты аппаратного обеспечения).



А) С применением традиционных методов и средств улучшения качества

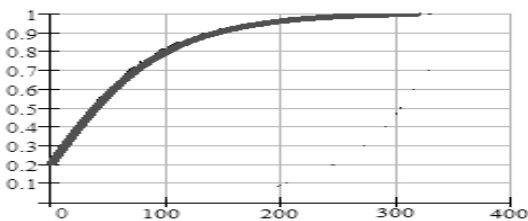


Б) С применением предлагаемых методов и средств улучшения качества

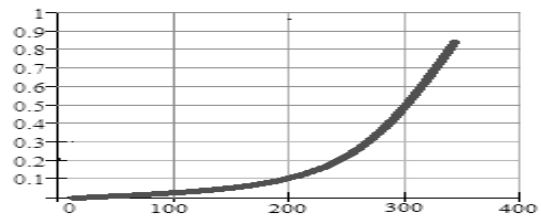
Рисунок 5.3.4. – Результаты моделирования среднестатистического количества выявляемых и устраняемых системных ошибок при стыковке и отладке компонент в составе ПАК управления МКС в единицу времени

Результаты моделирования, приведенные на рисунке 5.3.4, наглядно показывают, что эффект от применения разработанных методов и методологических средств более ощутим и значим именно с ростом числа компонент ПАК управления МКС участвующих в комплексной стыковке, настройке и отладке, т.е. по мере роста функциональной сложности решаемой задачи в рассматриваемой технологической системе.

4. Уменьшение вероятности возникновения ошибки при росте числа строк исполняемого программного кода в текущей программной компоненте ПАК управления МКС. Результаты сравнения по итогам интерполяции и сглаживания результатов моделирования по этому показателю приведены на рисунке 5.3.5. В данном случае по оси абсцисс отложены значения количества учитываемых строк программного кода, а по оси ординат отложены значения искомой вероятности.



А) С применением традиционных методов и средств улучшения качества



Б) С применением предлагаемых методов и средств улучшения качества

Рисунок 5.3.5 – Результаты моделирования вероятности возникновения ошибки при росте числа строк исполняемого программного кода в текущей компоненте

В силу того, что применение методов и методологических средств улучшения качества ПАК управления МКС меняет сам характер целеполагания в технологическом процессе разработки соответствующего программного обеспечения, то значимость достигаемого эффекта по данному показателю не вызывает сомнений, что наглядно видно из анализа графиков А) и Б) на рис. 5.3.5.

5. Обеспечение условий трудовой деятельности разработчика в рамках технологической системы SCRUM, а также сводный показатель «Нововведения», выступают как структурированные качественные показатели, каждый из которых в конкретизированном виде формируется и оценивается путем экспертного анализа. Проведенная оценка эффективности разработанных методов и методологических средств улучшения ПАК управления МКС осуществленная на примере и в рамках реальной разработки указанных комплексов в АО «НПП «Радар ммс», что позволило перейти к обоснованному выводу о наличии значимого эффекта по выделенным качественным показателям от их применения.

Таким образом, резюмируя вышеописанные результаты оценивания эффективности разработанных методов и методологических средств улучшения качества комплексов управления МКС, становится возможным перейти к единому заключению, что указанные методы и средства позволяют добиться значимого улучшения качества ПАК управления МКС за счет применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания ПК для них, реализующей методологию гибкой разработки ПО.

#### 5.4. Выводы по V главе

1. В практической реализации проектов по разработке ПАК управления МКС в рамках технологической системы SCRUM важны не только вопросы системного и логического определения архитектурных и технологических аспектов качества аппаратной платформы, разрабатываемого ПО, но эффективная выработка конкретных рекомендаций по мерам улучшения качества в текущих условиях протекания технологического процесса. Именно на обеспечение указанной эффективности нацелен метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС, который по своей сути является корректной локализацией метода структурирования функций качества (QFD-метод) на предметную область разработки и создания программно-аппаратных комплексов, программного обеспечения в рамках технологической системы SCRUM.

2. Непосредственное применение QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM для выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС не представляется рациональным и эффективным. Алгоритм формирования базовой многотабличной диаграммы является «тяжеловесным» для высоко итеративной SCRUM-технологии разработки программного обеспечения. Этот факт говорит о необходимости модернизации (модификации) алгоритма формирования базовой многотабличной диаграммы и общего алгоритма применения QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПАК управления МКС для решения частной задачи выработки конкретизированных рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент указанных комплексов (т.е. компонент как аппаратной платформы, так и программного обеспечения).

3. Модернизация алгоритма применения QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПАК управления МКС для решения частной задачи выработки конкретизированных рекомендаций по



обеспечению качества обособленных компонент указанных комплексов сводится к биматричному представлению многотабличной диаграммы рассматриваемого метода квалиметрии при разработке ПАК. При этом многотабличная диаграмма QFD-метода при проектировании ПАК управления МКС разрабатывается лишь изначально, на первом этапе создания либо самого комплекса, либо его важной функциональной составной части. Далее на её базе создается и упрощенный вариант многотабличной QFD-диаграммы в рамках которой в матрице связей проставляется не значения меры интенсивности связей между пользовательскими требованиями и техническими характеристиками ПАК управления МКС, а ссылки на соответствующие вспомогательные матрицы устанавливающие, в свою очередь, логические связи-описания между средствами и методами совершенствования соответствующих технических характеристик.

4. Диссертационный эксперимент проведен как многоэтапная и многоуровневая апробация разработанных методов и других методологических средств в качестве методологической основы для инструментария инженеров-системотехников, специалистов по контролю качества при создании ПАК управления МКС, в рамках развития прикладных квалиметрических методик для гибкой методологии разработки в технологической системе SCRUM на профильном научно-промышленном предприятии авиационного приборостроения. Такая апробация, включавшая в себя также анализ и качественно-количественную оценку проведенного экспериментирования, проводилась на трех уровнях абстрагирования и представления процессов разработки ПАК управления МКС и их составных частей в рамках технологической системы SCRUM: качественно-количественном, количественном и натурном. Для каждого из указанных уровней характерны соответствующие методы моделирования и оценки результата, различная суть формулируемых выводов.

5. Оценка эффективности разработанных методов и методологических средств улучшения качества комплексов управления МКС количественно

проведена с применением качественной интерпретации регистрируемого в ходе имитационного моделирования эффекта по заранее определенным показателям результативности технологической системы создания программного обеспечения для ПАК управления МКС, а также его комплексирования с соответствующими элементами аппаратного платформы.

6. Полученный объем результатов оценивания эффективности разработанных методов и методологических средств улучшения качества комплексов управления МКС позволил прийти к единому заключению, что указанные методы и средства позволяют добиться значимого улучшения качества ПАК управления МКС за счет применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания ПК для них, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения.

## Заключение

Описание постановки научной и частных задач данного диссертационного исследования, существа полученных научных результатов, выносимых на защиту, формулировка частных выводов по каждому из этих результатов дают возможность резюмировать проведенную работу следующими обобщающими выводами и рекомендациями:

1. Совокупность предложенных в данной диссертационной работе методов и научно-методических средств улучшения качества комплексов пространственного управления системами разнородных авиационных роботов формирует методологический базис улучшения качества ПАК управления МКС.

2. Совокупность предложенных в данной диссертационной работе методов и научно-методических средств, выносимых на защиту, обеспечивает решение научно-технической проблемы улучшения качества ПАК управления МКС за счет применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания ПК для них, реализующей методологию гибкой разработки программного обеспечения.

3. Улучшение качества ПАК управления МКС за счет повышения результативности технологической системы SCRUM гарантировано будет обеспечено, если в технологические процессы указанной системы при совершенствовании качества комплексов управления МКС будут внедрены:

- Концепция контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления системами разнородных авиароботов;
- Методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС;
- Метод рекурсивной оценки качества ПК управления МКС;
- Комплекс моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС;

- Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС;
- Метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС;
- Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС.

4. Научно-технический и практический потенциал разработанных методов и методологических средств улучшения качества ПАК управления МКС определяется возможностями:

- методической и организационно-технической поддержки деятельности инженеров-программистов, программистов-кодировщиков, инженеров-наладчиков и инженеров по качеству, исполняющих роли продукт-оунера, скрам-мастера, разработчика в рамках технологической системы SCRUM при создании конкретных изделий ПАК управления МКС;

- контроля и обеспечения требуемого уровня качества ПАК управления МКС и их составных частей (прежде всего, прикладного программного обеспечения);

- оснащения много итеративного технологического процесса разработки и улучшения качества программного обеспечения ПАК управления МКС специализированными средствами текущей оценки качества, выработки актуальных рекомендаций по улучшению текущего качества, целеполагания для технологического совершенствования, выявления системных пробелов и ошибок в построении и пр.;

5. Полученные в диссертационном исследовании научные результаты (положения, выносимые на защиту), а также выводы и рекомендации носят сводно-обобщающий характер, что позволяет их применять для:

– разработки руководящих документов, образующих базу стандартов технического регулирования, регламентирующих процесс разработки и создания ПАК управления МКС, а также деятельность инженеров-системотехников,

специалистов по контролю качества при создании указанных программных комплексов и соответствующих приборных систем;

– организации новых НИОКР для целей развития квалиметрических методов и методик гибкой методологии разработки программного обеспечения в сфере авиационного приборостроения;

– для разработки соответствующих программно-аппаратных, программно-информационных и программных средств инфраструктурного обеспечения функционирования технологической системы SCRUM на предприятиях авиационного приборостроения.

6. С учетом указанного выше вынесенные на защиту научные результаты являются новыми, достоверными, теоретически и практически значимыми. Они могут быть квалифицированы как совокупность технических и технологических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны.

Таким образом, в диссертационной работе получено семь научных результатов (положений, выносимых на защиту). Эти результаты соответствуют формуле специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции» и основным областям исследования этой специальности.

Перспективными направлениями дальнейших исследований в области улучшения качества комплексов управления МКС, являются:

1. Интеграция в состав специализированных комплексов управления МКС технологий облачных и туманных вычислений, методов и средств искусственной интеллектуальности, сетецентрического подхода к организации управления.

2. Стандартизация способов и приемов улучшения качества комплексов управления МКС.

3. Синтез комплексных методов построения сетей интегрального обслуживания на базе группировок МКС и технических средств управления ими.

Обозначенные выше направления дальнейших исследований призваны обеспечить улучшение качества комплексов управления МКС, а в конечном итоге, рост результативности и безаварийности практического применения группировок элементов указанных МКС.

**Список сокращений и условных обозначений**

АСУ	— автоматизированная система управления
БАК	— беспилотный авиационный комплекс
БАС	— базовая автоматизированная станция
БГ	— базовая готовность
БД	— база данных
БПВС	— беспилотное воздушное судно
ВПП	— взлетно-посадочная полоса
ГИС	— географическая информационная система
ГИТ	— геоинформационная технология
ГОСТ	— государственный стандарт
ДЗЗ	— дистанционное зондирование Земли
ИИ	— искусственный интеллект
ИО	— информационное обеспечение
ИТ	— информационная технология
ЛА	— летательный аппарат пилотируемый
ЛПР	— лицо, принимающее решение
МКС	— мультикомпонентная система
МЧС	— Министерство по чрезвычайным ситуациям РФ
НСУ	— наземная система дистанционного управления
ОКР	— опытная конструкторская работа
ОЛВМ	— общий логико-вероятностный метод
ОПО	— общесистемное программное обеспечение
ОС	— операционная система
РЭА	— радиоэлектронная аппаратура
ПАК	— программно-аппаратный комплекс
ПК	— программный комплекс
ПО	— программное обеспечение
ППО	— прикладное программное обеспечение
СТП	— стандарт предприятия
СУБД	— система управления базами данных
СЧ	— составная часть
СФК	— структурирование функций качества
ТЗ	— техническое задание
ТУ	— технические условия
УГ	— управление группировкой
QFD	— quality function deployment

**Словарь терминов**

1. **Алгоритм** - формальная процедура, гарантирующая получение оптимального или корректного решения.
2. **Автовозвращение** – функция, обрабатывая которую беспилотный летательный аппарат автоматически возвращается в точку с координатами запуска.
3. **Аномалия качества** – регистрация факта значительно более низкого значения по отдельному (группе обособленных) независимых показателей в системе показателей оценки качества. Аномалия качества в профиле качества представляет собой выброс текущих оценок в область низких значений.
4. **База данных** - совокупность данных, организованных по определенным правилам, устанавливающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными.
5. **Бэклог** – список задач для команды разработки, который полностью описывает желаемую заказчиком функциональность программной системы, создаваемой в проекте (*Product Backlog*) или на спринте разработки (*Sprint Backlog*). При этом этот список нельзя рассматривать как четкий план реализации проекта (спринта), это по сути список «желаний» заказчика.
6. **Данные** – зарегистрированная информация, представленная в электронном виде, пригодном для обработки автоматическими средствами при возможном участии человека.
7. **Дронер** – пользователь беспилотного летательного аппарата.
8. **Динамическое автовозвращение** – поддержка функции автоматического возвращения из текущей географической точки, где находится беспилотный летательный аппарат, в точку, где находится пилот (дронер).
9. **Диаграмма сгорания** – график прогнозирования использования ресурсов и сроков завершения проекта по разработке программной системы в рамках гибкой методологии разработки программного обеспечения.



10. **Геофенсинг** – функционал беспилотного летательного аппарата, когда в его памяти содержатся координаты, введенные пользователем и/или производителем, блокирующие попадание беспилотного аппарата в те или иные зоны.
11. **Группа** – совокупность элементов МКС, как правило однотипных, управляемых из единого центра, демонстрирующих единое адаптивное поведение и объединенных решением логически взаимосвязанных задач в рамках одной операции.
12. **Группировка** - совокупность элементов МКС, как правило разных типов, которая может включать в свой состав как отдельные летательные аппараты, так и группы элементов МКС.
13. **Заказчик проекта** – идеолог (конечный потребитель, эксперт и пр.) проекта разработки программной системы в рамках гибкой методологии разработки.
14. **Инкремент** – реализация новых возможностей, которая демонстрируется в рамках всей создаваемой программной системы в конце спринта. Его показывают всем заинтересованным лицам на демонстрации, чтобы собрать экспертные мнения и решить. Как осуществлять разработку далее.
15. **Интерфейс** – совокупность средств и правил, обеспечивающих взаимодействие вычислительных систем, входящих в их состав устройств, программ, а также пользователя с системой; последний носит особое название **интерфейс пользователя** (user interface), в современных программных средствах оформляется графически.
16. **Информация** (information) – **1.** совокупность знаний о фактических данных и зависимостях между ними; «сведения, являющиеся объектом некоторых операций; передачи, распределения, преобразования, хранения или непосредственного использования», данные, релевантные пользователю; **2.** в вычислительной технике: содержание, присваиваемое данным посредством соглашений, распространяющихся на эти данные; данные, подлежащие вводу в компьютер, обрабатываемые пользователю. Законы, методы и способы

накопления, обработки и передачи информации с помощью компьютеров и иных технических устройств, изучаются **информатикой** (informatics, computer science).

17. **Команда разработки** – в рамках SCRUM-технологии разработки программного обеспечения это группа профессионалов, состоящая из программных специалистов разных профилей, непосредственно реализующих ПК управления МКС, как программную систему, по идее (по замыслу) Заказчика.

18. **Оценивание свойства** — определение значения характеристики.

19. **Оценка** — результат оценивания. При этом, **Измерение** — определение значения количественной характеристики, основанное на поиске значения физической величины опытным путем с помощью технических средств.

20. **Показатель качества** - количественная характеристика, с помощью которой оценивается одна из составляющих качества. При этом выделяют: **Элементарный показатель качества** – единичный показатель качества, который характеризует независимое простое свойство, не требующее дальнейшей декомпозиции (квантификации). **Групповой показатель качества** – комплексный показатель качества, который определяется на некотором множестве частных показателей, расположенных в структуре показателей на один уровень ниже его. **Частный показатель качества** – элементарный или групповой показатель, который характеризует некоторый групповой или интегральный показатель, расположенный в иерархической структуре показателей на один уровень выше его. **Интегральный показатель качества** – наивысший по уровню иерархии групповой показатель, не являющийся частным по отношению ни к одному из показателей.

21. **Представление** - процесс формулирования или описывания проблемы таким образом, чтобы ее было легко решить.

22. **Программа** – 1. данные, предназначенные для управления конкретными компонентами системы обработки данных в целях реализации определенного алгоритма; 2. упорядоченная последовательность команд, подлежащих

обработке, последовательность предложений **языка программирования** (programming language). Совокупность П. (1) и документации к ним образует программное обеспечение.

23. **Продукт-оунер** (*Product Owner*) – руководитель проекта разработки ПК управления МКС, как программной системы. Он представляет интересы Заказчика (конечных пользователей) и других заинтересованных в программном комплексе сторон, предоставляет понятные и проверяемые требования команде разработчиков, отвечает за итоговую приемку финишного кода в конце каждого спринта.

24. **Пространственное управление** – управление движением объекта в координированном пространстве (в пространстве, в котором задана соответствующая система координат).

25. **Результат (эффект)** — конечный итог операции, в том числе все ее последствия. **Целевой эффект** — результат, ради которого проводится операция.

26. **Ресурсы** — силы и средства, которые используются для проведения операции.

27. **Система качества** - совокупность организационной структуры, ответственности, процедур, процессов и ресурсов, обеспечивающая осуществление общего руководства качеством; система менеджмента для руководства и управления процессами разработки применительно к качеству.

28. **Скрам-мастер** (*Scrum-Master*) – специалист, который контролирует процесс разработки проекта программной системы ПУ управления МКС; он следит за соблюдением принципов SCRUM, разрешает противоречия и защищает команду разработчиков от отвлекающих факторов.

29. **Свойство** — характерная черта, сторона объекта, которая внутренне присуща ему и обуславливает его различие или сходство с другими объектами.

**Простое свойство** — свойство, которое нельзя представить в виде некоторой совокупности свойств объекта, а **сложное свойство** — свойство, которое представимо в виде некоторой совокупности свойств объекта. При этом

**Группа свойств** — любая совокупность свойств объекта; **Признак объекта** — устойчивая совокупность свойств объекта, используемая для различения объектов или их классификации.

30. **Состояние объекта** — совокупность свойств, которая отражает процесс изменения объекта. Состояние объекта описывают с помощью набора характеристик свойств, составляющих совокупность, которая определяет это состояние, и значений этих характеристик в момент времени, соответствующий описанию состояния. Изменение объекта на данном интервале времени — это последовательность состояний, которые принимает объект в каждый момент времени на этом интервале. Данный процесс описывают путем задания начального (исходного) состояния и изменения этого состояния для каждого момента времени на заданном интервале. **Развитие** — изменение объекта, подчиняющееся закономерностям, которые определяют существование объекта.

31. **Спринт** – итерация разработки в технологии гибкой разработки программного обеспечения. В рамках технологии SCRUM это итерация (этап) в которой реализуется определенная часть проекта по созданию программной системы.

32. **Технологическая система** - это совокупность функционально связанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

33. **Флип** – характерная пилотажная фигура, выполняемая беспилотным летательным аппаратом – переворот на 360 градусов.

34. **Функциональная подсистема** - составная часть системы, реализующая одну или несколько близких функций.

35. **Характеристика свойства** — описание свойств объекта. Характеристика имеет наименование и значение. Наименование характеристики совпадает с названием свойства. Значение характеристики можно задать количественно и качественно, поэтому различают количественные и

качественные характеристики: **Количественная характеристика** — описание свойства объекта с помощью некоторой переменной, значения которой характеризуют уровень или интенсивность этого свойства. Такую переменную обычно называют величиной. **Качественная характеристика** — описание свойства объекта без явного количественного оценивания интенсивности свойства.

36. **Эффективность** — сложное свойство операции, характеризующее ее приспособленность к достижению цели, ради которой операция осуществляется.

37. **Agil** — методология гибкой разработки программного обеспечения (Agile software development).

38. **RUP** — специализированная методология разработки ППО, базирующаяся на рассмотрении процесса синтеза программно-информационной системы в виде множества подпроцессов работ, каждый из которых, в свою очередь, подразделяется на фазы, соотнесенные к стадиям жизненного цикла (Rational Unified Process).

39. **SCRUM** — конкретная технология реализующая методологию гибкой разработки программного обеспечения Agile.

40. **UML-модель** - совокупность взаимосвязанных диаграмм, позволяющих в полной мере реализовать представление моделируемой системы в динамическом, статическом и структурном аспектах.

## Список литературы

1. Азгальдов, Р.И. Методы оценки качества продукции [Текст] / Р.И. Азгальдов, О.С. Райхман. – М.: Энергоатомиздат, 1991. - 264 с.
2. Айвозян, С.А. Прикладная статистика: исследование зависимостей [Текст] / С.А. Айвозян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1985. - 487 с.
3. Разработан программно-аппаратный комплекс управления 10 БПЛА [Электронный ресурс]: Авиация России. Гражданская авиация, пассажирские и боевые самолеты и вертолеты России, новости и история российской и советской авиации. – электронные данные, – режим доступа <https://aviation21.ru/razrabotan-programmno-apparatnyj-kompleks-upravleniya-10-bpla/> – дата доступа: июнь 2019.
4. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1974. -159 с.
5. Большая российская энциклопедия. / [Эл. ресурс] – (<http://slovari.yandex.ru/>).
6. Борисов, А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования [Текст] / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П.Федоров – Рига: Зинатне, 1991.-223 с.
7. Характеристики качества программного обеспечения [Текст] / Б.У. Боэм, [и др.] – М.: Мир, 1981. -312 с.
8. Боэм, Б.У. Инженерное проектирование программного обеспечения [Текст]: пер. с англ. /Б.У. Боэм. – М.: Радио и связь, 1985. -252 с.
9. Воротников В.И., Вохмянина А.В. Метод линеаризующей обратной связи в задаче управления по части переменных при неконтролируемых помехах// Труды СПИИРАН. - 2018.-№6(61) – С.61 -93. DOI:10.15622/sp61.3
10. Гаврилова, Т.А. Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы [Текст] / Т.А. Гаврилова, Д.И. Муромцев. - 2-е издан. - СПб, Издательство «Высшая школа менеджмента»; Издат. Дом Санкт-Петерб. Гос. университета, 2015. – 488 с.

11. ГОСТ 34.201-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. [Текст] - М.: Госкомстандарт, 2002. – 36с.
12. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы стадии создания. [Текст] - М.: Госкомстандарт, 2002. – 84с.
13. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2015. – 42с.
14. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2015. – 57с.
15. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2012. – 174с.
16. ГОСТ Р 51904-2002. Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2012. – 36с.
17. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15910-2002. Информационная технология. Процесс создания программного средства пользователя. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2012. – 98с.
18. ГОСТ 15971-90. Системы обработки данных. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1992.
19. ГОСТ 28806—90. Качество программных средств. [Текст] - М.: Госкомстандарт, 1999. – 114с.
20. ГОСТ Р ИСО 25010 -2015. Качество информационных продуктов. Основные процедуры определения. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2015. – 76 с.
21. ГОСТ Р ИСО 27000 -2015. Качество программных средств. Основные процедуры определения. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2015. – 36с.

22. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2006. – 57с.
23. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 – 2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2012. – 26с.
24. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения [Текст] - М.: Издательство стандартов, 1990. – 32с.
25. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристика качества и руководства по их применению [Текст] - М.: Издательство стандартов, 1993. – 129с.
26. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2012. – 70с.
27. ГОСТ Р 51 901.2 – 2005. Менеджмент риска. Системы менеджмента надежности. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2005. – 74с.
28. ГОСТ Р 51 901.3 – 2007. Менеджмент риска. Руководство по менеджменту риска. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2007. – 104с.
29. ГОСТ Р 51 901.5 – 2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2007. – 92с.
30. ГОСТ Р 51 901.4 – 2005. Менеджмент риска проекта. Руководство по применению при проектировании. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2005. – 65с.
31. ГОСТ Р 51 901.1 – 2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2003. – 38с.
32. ГОСТ Р 7.07.11 – 2011 Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2012. – 11с.
33. ГОСТ Р 57773 – 2017 Пространственные данные. Качество данных. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2018. – 108с.
34. ГОСТ Р 57656 – 2017 Пространственные данные. Метаданные. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2018. – 56с.



35. ГОСТ Р 57668 – 2017 Пространственные данные. Метаданные. Часть 1. Основные положения [Текст] - М.: Стандартинформ, 2018. – 128с.
36. ГОСТ Р 57668 – 2017 Пространственные данные. Метаданные. Часть 2. Расширения для изображений и матричных ортофотопланов [Текст] - М.: Стандартинформ, 2018. – 142с.
37. ГОСТ Р 50828 – 1995 Геоинформационное картографирование. Пространственные данные. [Текст] - М.: Издательство стандартов, 1995. – 58с.
38. ГОСТ 2.105-95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. [Текст] - М.: Издательство стандартов, 1995. – 138с.
39. ДеМарко Т. Вальсируя с медведями. Управление рисками в проектах по разработке программного обеспечения [Текст] / ДеМарко Т., Листер Т. – М., Издательский дом ДН, 2005.- 196с.
40. ДеМарко Т. Deadline. Роман об управлении проектами [Текст] / ДеМарко Т. – М., Издательство «Манн-Иванов-Фербер», 2016.- 352с.
41. Дюваль П.М. Непрерывная интеграция. Улучшение качества программного обеспечения и снижение риска [Текст] Дюваль П.М., Матиас С., Гловер Э. – СПб.: Символ, 2016.- 240с.
42. Джонс, Дж. К. Методы проектирования [Текст] / К. Дж. Джонс. пер. с англ. Т. Г. Бурмистровой, И. В. Фриденберга; под ред. В. Ф. Венды, В. М. Мунипова. - 2-е изд., доп. - М.: Мир, 1986. - 326 с.
43. Ивакин, Я.А. Методы интеллектуализации промышленных геоинформационных систем на основе онтологий [Текст]/ Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», 2009 – 371с.
44. Ивакин, Я.А. Интеллектуализация геоинформационных систем. Методы на основе онтологий [Текст]: Научное издание / Я.А. Ивакин – Саабрюненг: Ламберт-Академик Пабблишинг, 2010. – 475с.
45. Ивакин Я. А. Информационная технология геохронологического трекинга для проверки гипотез ретроспективных исследований использования

водного транспорта / Я. А. Ивакин, С. В. Потапычев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 452–461. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-452-461.

46. Иванов Д.А., Иванова М.А., Соколов Б.В. Анализ тенденций изменения принципов управления транспортными предприятиями в условиях развития технологий индустрии 4.0/ Д.А. Иванов, М.А. Иванова, Б.В. Соколов // Труды СПИИРАН. — 2018. — № 5(60). — С. 97–128.

47. Коллинз, Г. Структурные методы разработки систем: от стратегического планирования до тестирования [Текст]: пер. с англ. / Г. Коллинз, Дж. Блей. – М.: Финансы и статистика, 1996. -156 с.

48. Курейчик В.В., Жиленков М.А. Муравьиный алгоритм для решения оптимизационных задач с явно выраженной целевой функцией // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2015. № 2. С. 1–12.

49. Куликовский, Л.Ф. Теоретические основы информационных процессов [Текст] / Л.Ф. Куликовский, В.В. Мотов. – М.: Высшая школа, 2009. – 264 с.

50. Липаев, В.В. Обеспечение качества программных средств. Методы и стандарты [Текст] / В.В. Липаев. – М.: МГТУ «Станкин», 2012. -302 с.

51. Можаяев А.С. Современное состояние и некоторые направления развития логико-вероятностных методов анализа систем. Часть-I. В сб.: Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем. Вып.10. Под редакцией И.А. Рябина. Препринт 101. СПб.: ИПМАШ РАН, 2014, с.23-53.

52. Майерс, Г. Надежность программного обеспечения [Текст]: пер. с англ. / Г. Майерс. – М.: Мир, 2008. -186 с.

53. Математическая энциклопедия [Текст]: т. 3 -М.: Издательство «Советская энциклопедия», 1984. -1215 с.

54. 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.
55. 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
56. Мичурин, С.В. Методы оценки и улучшения качества программных комплексов диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук – СПб., ГУАП, 2016 - 412 с.
57. Мичурин, С.В. Повышение качества управления пространственными процессами авиатранспорта / С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2015. №8. С.79-86.
58. 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.
59. 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.
60. Михайлин, Д.А. Нейросетевой алгоритм безопасного облета воздушных препятствий и запрещенных наземных зон [Текст]/ Д.А. Михайлин // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2017. - № 4. – С. 18-24.
61. Муся, А.М. Геопространственное моделирование в программных комплексах [Текст]/ Я.А.Ивакин, А.М.Муся. - Труды международной научно-практической конф. по объединению науки и общества в 21 веке, 13 марта 2015г., Сент-Люис, Миссури, США, 2015. – С. 149 - 158.

62. Муся, А.М. Обеспечение эффективности геоинформационных систем управления пространственными процессами [Текст]/ А.М.Муся, Я.А.Ивакин. - Вопросы радиоэлектроники. Серия «Системы и средства отображения информации и управления спецтехникой», 2015. Выпуск 1. – Москва, ОАО «ЦНИИ «Электроника», 2015.- с.151 -159.
63. Смирнова, М.С. Автоматизированные системы ситуационного управления и диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте [Текст] / С.В. Мичурин, Я.А. Ивакин, М.С. Смирнова// Радиопромышленность. Вып.4 – М.: АО «ЦНИИ «Электроника», 2015 – 24-36с.
64. Паспорт научной специальности 05.02.23 «Стандартизация и управление качеством» [Электронный ресурс]: Паспорта научных специальностей – электронные данные, – режим доступа <http://arhvak.minobrnauki.gov.ru/web/guest/316> – дата доступа: июнь 2019.
65. Пантелей Е, Гусев Н.А., Воцук Г.Ю., Желонкин А.В. Разработка программно-аппаратного комплекса управления группой беспилотных летательных аппаратов для решения задач предприятий растениеводства // Труды XX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 03-06 сентября 2018 г. –Самара: ОФОРТ, 2018. –С. 548-553. –ISBN 978-5-473-01200-2
66. Першиков, В.И. Толковый словарь по информатике [Текст] / В.И. Першиков, В.М. Савинков. – М.: Финансы и статистика, 2011. – 264 с.
67. Печенкин В.В., Королев М.С., Дмитров Л.В. Прикладные аспекты использования алгоритмов ранжирования для ориентированных взвешенных графов// Труды СПИИРАН. - 2018.-№6(61) – С.94 -119. DOI:10.15622/sp61.4
68. Попович, В.В. Геоинформационная система для комплексов мониторинга [Текст] / В.В. Попович [и др.]. - СПб.: Наука, 2013. - 480 с.
69. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. [Текст] / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 216 с., ил.

70. Рожков Н.Н. Квалиметрические методы и модели комплексного оценивания качества услуг в социальной сфере. [Текст] - СПб, ГУАП, 2015. - 117с.
71. Российская авиация [Электронный ресурс]: Тактический БПЛА «ГрАНТ» – электронные данные, – режим доступа <http://авиару.рф/aviamuseum/aviatsiya/rf/bpla/takticheskij-bpla-grant/> – дата доступа: июнь 2019.
72. Современные геоинформационные решения [Электронный ресурс]: Аэрофотосъемка с использованием беспилотного летательного аппарата – электронные данные, – режим доступа <http://www.ark-on.ru/about/item119/> – дата доступа: май 2019.
73. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1985. - 212 с.
74. Сазерленд, Джефф. Scrum. Революционный метод управления проектами / Джефф Сазерленд; пер. с англ. М. Гескиной — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016 — 288 с.
75. Семенова, Е.Г. Использование методов менеджмента качества в образовательном процессе. [Текст] / А.Г.Варжапетян, Е.Г. Семенова// Качество и ИПИ (CALS) – технологии. 2009. - №2. – с.42-47.
76. Семенова, Е.Г. Взвешивание иерархии показателей оценки качества программно-аппаратных комплексов данных / С.А. Морозов, Я.А. Ивакин, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова // Научный журнал «Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна» №5, 2017. С. 136-143
77. Смирнова М.С. Структурирование требований в задачах многокритериальной оптимизации сложных технических систем. Автоматизация, информатизация, инновация в транспортных системах: Сб. научно-технич. статей – СПб.: СПбГУВК, 2016. Вып. 1 – С. 36-41
78. Смирнова М.С. Оценка качества нечетких моделей / Автоматизация, информатизация, инновация транспортных систем: Сб. научно-технич. статей – СПб.: СПбГУВК. – 2017. – Вып. 2. С. 22-26.

79. Смирнова, М.С. Метод логических схем предметного контента для обеспечения качества разрабатываемых интерактивных электронных технических руководств / Ивакин Я.А., Фролова Е.А., Тушавин В.А., Смирнова М.С. // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 10. С. 6674.

80. Смирнова, М.С. Управление качеством интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники на всех этапах жизненного цикла / Е.А. Фролова, Я.А. Ивакин, К.В. Балашова, М.С. Смирнова, Б.В. Титков // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 1. С. 73-81.

81. Смирнова, М.С. Методический инструментарий планирования инновационного производства [Текст] / С.В.Кочетков, Е.Г.Семенова, М.С.Смирнова - Вопросы радиоэлектроники. 2014. Т. 2. № 4. С. 137-143.

82. Смирнова, М.С. Управление производственно-технологическими комплексами в условиях неопределенности / С.А. Морозов., В.М. Балашов, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2016. Вып. 2 С. 86-89

83. Смирнова, М.С. Иерархия показателей оценки качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных / С.А. Морозов, Я.А. Ивакин, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова // Научный журнал «Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна» №5 2017. С. 128-136

84. Смирнова, М.С. Обеспечение качества программно-аппаратных комплексов для центров хранения и обработки данных / С.А. Морозов, Я.А. Ивакин, В.М. Балашов, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2018. №3 С. 145-150

85. Смирнова, М.С. 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

86. Смирнова, М.С. Управление технологическими комплексами сборочно-монтажного производства в условиях неопределенности [Текст] / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – СПб.,

Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций, 2008.– 175 с.

87. Токарев, Ю.П. Построение комплекса управления беспилотными летательными аппаратами с использованием стандартных компонент [Текст] / Ю.П.Токарев, М.И.Макеев, К.Р.Юмаев// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия: Информатика Телекоммуникации Управление -2010. №6. – С.56-59

88. Фетисов, В.С. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние [Текст] / В.С.Фетисов, Л.М.Неугодникова, В.В.Адамовский, Р.А.Красноперов – М.,Фотон,2014г. – ISBN 978-5-9903144-3-6

89. Фролова, Е.А. Методы управления качеством интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники [Текст] / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук – СПб., ГУАП, 2019. – 411с.

90. Фролова, Е.А. Исследование и разработка методов и инструментов управления качеством проектов: отчет о НИР / ГУАП: рук. А.Г. Варжапетян; №02201258800. СПб., 2015. 159 с.

91. Уразбаев, А. Путеводитель по Scrum [Электронный ресурс]- режим доступа [http:// www.versionone.com/agilesurveyresults.asp](http://www.versionone.com/agilesurveyresults.asp) - дата доступа: май 2019.

92. Черепанов, В.С. Экспертные оценки в педагогических исследованиях [Текст] / В.С. Черепанов. - М.: Педагогика, 1999. -152с.

93. Швабер, К. Софт за 30 дней. Как Scrum делает невозможное возможным [Текст] / К. Швабер, Дж. Сазерленд. - М.: Издательство «Манн, Иванов и Фербер», 2017. – 256с., ISBN 978-5-00100-768-5.

94. Юсупов, Р.М. Концептуальные и научно-методологические основы информатизации [Текст] / Р.М.Юсупов, В.П.Заболотский. - СПб.: Наука, 2009.- 542с.,80 ил.

95. AEROSCANAVIA [Электронный ресурс]: Аэрофотосъемка с БПЛА в разных сферах бизнеса – электронные данные, – режим доступа <http://aeroscandia.ru/> – дата доступа: июнь 2019.
96. ArduPilot.org [Электронный ресурс]: Archived:APM 2.5 and 2.6 Overview – электронные данные, – режим доступа <http://ardupilot.org/copter/docs/common-apm25-and-26-overview.html> – дата доступа: июль 2019.
97. Boehm, B.W. Software engineering economics [Text] / B.W. Boehm. - 1981 by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, USA -767 p.
98. Deepak A., Tobias F. Average-Case Analysis of Incremental Topological Ordering //Discrete Applied Mathematics. 2010. vol. 158. no. 4. pp. 240–250.
99. Dammar A.B. Query optimization techniques in graph Databases // International Journal of Database Management Systems (IJDBMS). 2016. vol. 8. no. 4. 14 p.
100. Koopman B.O. The axioms and algebra of intuitive probability – Annals of Mathematics, Vol.41, No.2, April, 1940.
101. Koopman B.O. The bases of probability – Bulletin of the American Mathematical Society, 46 (1940).
102. Saaty, T.L., The Analytic Hierarchy Process [Text] / What it Is and How it is Used. Mathematical Modeling, 9, 1997.- pp.161-176.
103. Saaty, T.L., How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. [Text] / European Journal of Operation Research, 48(1), 1990.- pp.9-26.
104. Sarma A.D., Molla A.R., Pandurangan G., Upfal E. Fast distributed pagerank computation // Theoretical Computer Science. 2015. vol. 561. pp. 113–121.
105. J.Dobrowski, M.Kulawiak, M.Moszynski, K.Bruniecki, L.Kaminski, A.Chybicki, A.Stepnowski Real-time Web-based GIS for Analysis, Visualization, and Integration of Marine Transport Environment Data / Information Fusion and Geographic Information Systems // Proceedings of the Forth International Workshop. — 2015. — Vol. 1.— Pp. 277–289.



106. M.Codescu, G.Horsinka, O.Kutz, T.Mossakowski, R.Rau DO-ROAM: Activity-Oriented Search and Transport Navigation with OpenStreetMap / GeoSpatial Semantics // Proceedings of the 6th International Conference, GeoS 2015. — 2015. — Pp. 88-108.
107. Hovanov, N.V. Decision support system ASPID-3W (Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency) [Text] / N.V. Hovanov, K.N. Hovanov // Certificate of the computer program official registration: Russian Federal Agency for legal safeguard of computer programs, databases, and integrated-circuit layouts (RosAPO). – Moscow. – 1996. - № 960087.
108. Jacobson, G. Situation Management: Basic Concepts and Approaches [Text] / G. Jacobson, J. Buford, L. Lewis // International Workshop “Information Fusion and Geographic Information Systems” (IF&GIS2007): Proc. - St.Petersburg. - May 27-29. - 2007. - Pp.26-34.
109. MIT Technology Review [Электронный ресурс]: Six Ways Drones Are Revolutionizing Agriculture – электронные данные, – режим доступа <https://www.technologyreview.com/s/601935/six-ways-drones-are-revolutionizing-agriculture/> – дата доступа: июнь 2019.
110. Nadler, G. An Investigation of Design Methodology [Text] / G. Nadler. // Management Science. -2017.-V.13.-№.10.
111. Popovich, V. Data for Geographic Information Systems [Text] / V. Popovich, A. Pankin, Y. Ivakin // 11th International Conference on Urban Regional Development in the information society (CORP 2016): Proc. – Vien. - February 12-16. – 2016. –pp91-96.
112. Valet G. Mauris. A statistical overview of Recent Literature in Information Fusion [Text] / Valet G. Mauris. -Fusion 2015, IEEE AES. - March 2015.
113. Van Loon H. Process Assessment and ISO/IEC 15504: a Reference Book / H.Van Loon. – New York: Springer, 2007. – 280 p.
114. Walford, N. Geographical Data Analysis [Text] / N. Walford. – N. Y.: John Wiley & Sons. - 2015.

115. Watson, D.F. Conturing: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data [Text] / D.F. Watson. - Oxford Pergamum Press, 2012. – 321 p.
116. Smirnova, M.S., Michurin, S.V. Primary reorganization of server park in computer network on application of virtual machine technology // Advances in virtualization technologies: Proceedings of the International scientific and practical conference (Tbilisi, Georgian, September, 2015) / – Tbilisi: Anticrisis Center of Security Problems, 2015. pp.23-31.
117. Smirnova, M.S. Application of singular matrix beams in the symmetrical problem of definition of eigenvalues / Fomina A., Semenova E., Ivakin Y., Frolova E., Smirnova M. // Journal of Applied Engineering Science. 2018. T. 16. № 2. pp. 281-291.
118. Smirnova, M.S. Comparison of qualitative assessments of employees work by randomized indicators / E.A. Frolova, V.A. Tushavin, E.G. Semenova, M.S. Smirnova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. T. 10. № 16. pp. 7280-7287.
119. James A. Highsmith. Agile Software Development Ecosystems. — Addison-Wesley Professional, 2002.
120. ZALA AERO GROUP [Электронный ресурс]: Применение беспилотников (беспилотных летательных аппаратов, БПЛА) – электронные данные, – режим доступа <http://zala.aero/primenenie/> – дата доступа: май 2019.
121. Shrenk, M. Data for drone [Text] // The 17<sup>th</sup> International Conference on Urban Planing and Regional Development in the Information Society CORP2018: Proc. – Vienna, Austria. -April 2-4<sup>th</sup>. -2018. – pp.958-962.
122. Steve McConnell. Software Estimation: Demystifying the Black Art (Developer Best Practices) – NewYork, MicrosoftPress, 2006. – 610p.
123. Steve McConnell. Code Complete: A Practical Handdook of Software Construction – NewYork, MicrosoftPress, 2004. – 889p.
124. Habrahabr.ru [Электронный ресурс]: DPI – Deep Packet Inspection - электронные данные, – режим доступа <https://habr.com/ru/post/111054/> – дата доступа: июль 2019.

125. Ntop [Электронный ресурс] - электронные данные, – режим доступа <https://www.ntop.org> – дата доступа: июль 2019.
126. Skype [Электронный ресурс] - электронные данные, – режим доступа <https://www.skype.com/> – дата доступа: июль 2019.
127. НИИТС [Электронный ресурс] - электронные данные, – режим доступа <http://niits.ru> – дата доступа: июль 2019.
128. CISCO [Электронный ресурс] - электронные данные, – режим доступа <https://www.cisco.com> – дата доступа: июль 2019.
129. Software Engineering and Information Assurance CMMI [Электронный ресурс] - электронные данные, – режим доступа <https://www.sei.cmu.edu/research-capabilities/software-engineering-information-assurance/index.cfm> – дата доступа: июль 2019.
130. ISO/IEC 15504: Information Technology - Software Process Assessment [Электронный ресурс] - электронные данные, – режим доступа <http://www.iese.fhg.de/SPICE/> – дата доступа: июль 2019.
131. Cooper, R.G. Winning at new products. Accelerating the process from idea to launch. –Cambridge (MA): Perseus Publishing, 2001. — 227p.
132. Mittag H., Horst R. Statistical methods of quality insurance. Chapman and Hall /CR, 1993, 664 p.
133. Mozhaev, A.S. Theory and practice of Automated structural-logical Simulation of system. International Conference on Informatics and Control, torn 3. St. Petersburg SPNRAS, 1997. —p. 1109-1118.
134. Shannon C. The Mathematical Theory of Communication [Текст] / Shannon C., Weaver W. // Urbana: University of Illinois Press, 1969. – 125 p.
135. Kempe, V. Inertial MEMS. Principle and Practice. –Cambridge University Press. –2011. –497 p.
136. Sigma Knowledge Engineering Environment [Электронный ресурс] - электронные данные, – режим доступа URL: <http://sigmakee.sourceforge.net>. Дата доступа: декабрь 2019г.

137. QFD- структурирование функций качества [Электронный ресурс] - электронные данные, – режим доступа <https://sixsigma.ru/lean-six-sigma-articles/qfd/> – дата доступа: декабрь 2019.

138. QFD: что такое матричное планирование продуктов и как рассчитать факторы выбора? [Электронный ресурс] - электронные данные, – режим доступа <https://gusarov-group.by/qfd-что-такое-матричное-планирование-продуктов/> – дата доступа: декабрь 2019.

139. Waters R.L. Factors Influencing the Noise Floor and Stability of a Time Domain Switched Inertial/ Waters R.L., Fralick M., Jacobs D., Abassi S., Dao R., Carbonari D., Abramov G., Maurer G.// Position Location and Navigation IEEE Symposium -PLANS, 2012, pp. 1099-1105.

## Приложение А

### **Характеристика типовых программно-технических решений по реализации функциональных подсистем управления элементами МКС**

В качестве программно-технических решений по реализации функциональных подсистем дистанционного управления элементами МКС в составе наземной части беспилотного авиакомплекса, соответствующих существующим современным техническими и нормативно-техническими требованиям к элементам БАК, рассмотрен ряд технических и программных решений, освоенных отечественным авиаприборостроением в мелкосерийном производстве. Они обобщены применительно к основным функциональным системам управления элементами МКС в соответствии с классификацией из [88].

#### **1.Подсистема навигации и пилотирования.**

Как правило, предусматривает работу (отображение, расчет, прогнозирование и пр.) с четырехмерными мерными траекториях полетов. При этом выступает масштабируемым решением для соответствующего воздушного пространства низкой, средней и высокой интенсивности.

Предназначение:

- Руление, подход и удержание в зоне полетов;
- Поддержка удаленных определений параметров местоположения объектов (дистанция, азимут, угол места);
- Геофенсинг в соответствии с требованиями ICAO и агентства EUROCONTROL (т.е. при соответствии международным стандартам EUROCONTROL SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01);
- Информационное взаимодействие с комплексами в форматах IFPS и CFMU агентства EUROCONTROL.

Используемые программные и информационные технологии, обеспечиваемые ими технические возможности:

- Вычисление траектории полета по модели Земли WGS-84, что позволяет не иметь ограничений по зональности и размеру обслуживаемой (т.е. анализируемой в навигационном смысле) территории;

- Мультисенсорная обработка данных мониторинга от всех видов существующих источников информации: бортовая система мониторинга и контроля местоположения, подсистема независимой телеметрии, средств обзора воздушного движения (радиолокационных станций обзора летного пространства) и пр.;
- Использование вероятностных методов ассоциации наблюдаемых ЛА (PDA) и т.н. взаимодействующих моделей (IMM) для фильтрации данных, что обеспечивает производительность до ста сопровождаемых траекторий по данным от более чем двухсот источников навигационной информации;
- Обработка данных с борта аппарата для повышения точности учитываемой траектории и предоставления дополнительной информации операторам управления для реализации целевого функционала БАК;
- Регулярное обновление траекторной информации с темпом от 1 до 3 секунд;
- Поддержка получения аэронавигационных геопространственных данных в специализированном формате AIXM.

Обеспечиваемый базовый функционал навигации и пилотирования:

- управление структурированием и эшелонированием контролируемого воздушного пространства в зоне применения аппарата, с возможностью переконфигурирования на базе атомарных объемов;
- адаптивная настройка индикатора отображения воздушной обстановки и поддержания процессов пилотирования аппарата;
- обеспечение автоматизированного контроля за пространственной безопасностью аппарата в полете.

Аппаратно подсистема навигации и пилотирования — это прежде всего программно-аппаратный комплекс обработки и отображения информации на пультах операторов управления полетом или задания параметров полета высоко роботизированному элементу МКС. Отображение данных для оператора может реализовываться на базе интегрированных пультов управления функциями элементов МКС. При этом предполагается обеспечение возможности

отображения следующей текущей информации:

- первичных данных от радиолокационных средств мониторинга;
- трассовых данных по управляемому элементу МКС и контролируемым ЛА в зоне;
- геопространственных данных;
- данных о зональности и эшелонировании воздушного пространства зоны;
- данных по спланированной воздушной операции с элементами МКС;
- гидрометеоданных;
- формулярных данных по элементам МКС и ЛА в зоне применения БАК;
- служебных данных (профили операторов, сообщения операционной системы и пр.);
- данных по параметрам пеленга и дальности в секторе снижения и посадки;
- значений оперативного и астрономического времени;
- справочных данных;
- специализированной командной строки;
- данных сообщений о регистрируемых сбоях, авариях, отказах;
- специализированного окна для вывода рекомендаций подсистемы интеллектуальной поддержки;
- параметров широты и долготы назначенной географической точки.

Указанная информация выводится в виде условных номограмм или данных в стандартизированных полях рабочего окна оператора (интерфейса пользователя) параллельно с данными по реализации основного целевого предназначения. Пример такого обеспечения возможности отображения результатов вывода текущей полетной информации в сочетании с данными по вскрытию обстановки показан на рисунке П1.1.

Вывод различных данных подсистемы навигации и пилотирования возможен в различных комбинациях, в рамках индивидуально настраиваемого интерфейса пользователя-оператора управления.

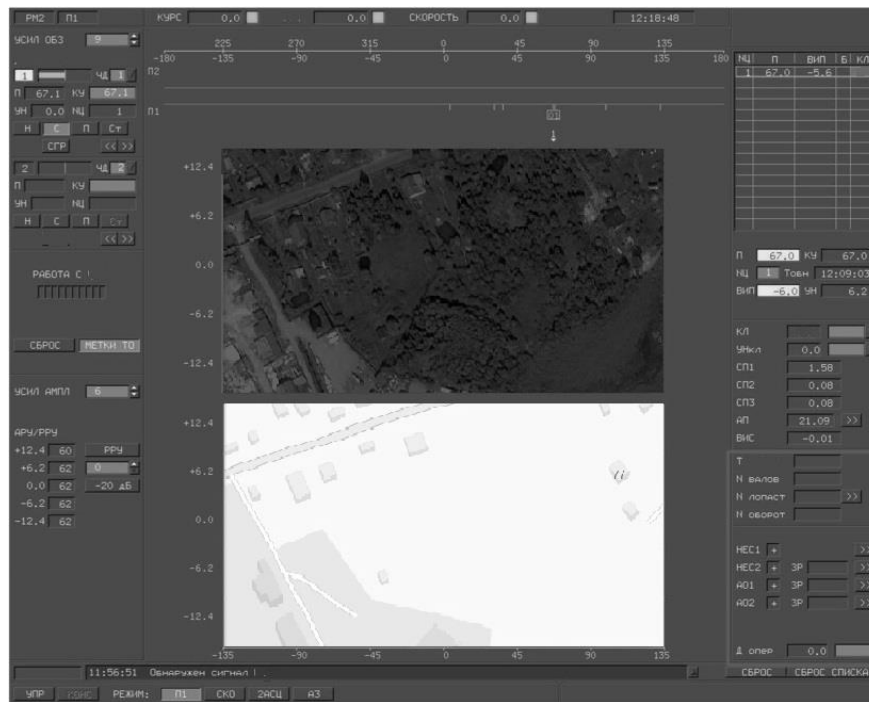


Рисунок П1.1 – Пример интерфейса пользователя для отображения вывода текущей полетной информации в сочетании с данными вскрытия обстановки

В отдельном модальном окне предусматривается отображение формуляра состояния элемента МКС, включающего в себя:

- текущий номер полетного задания;
- текущий учетный вес;
- высота полета в данный момент времени (м.);
- эшелон полета в данный момент времени (м.);
- набор высоты/ снижение;
- текущий курс;
- текущий объем топлива на борту;
- азимут и дальность до заданной реперной точки;
- расчетное время полета до заданной реперной точки;
- текущая скорость полета (км/ч);
- вид(тип) аппарата (элемента МКС);
- специальные коды состояния и сигналы бедствия;
- сигнал вхождения на максимально высокий эшелон;
- сигнал вхождения в опасное сближение;



- сигнал вхождения на минимально низкий эшелон;
- сигнал вхождения в назначенную закрытую зону;
- сигнал вхождения в ореол потенциально опасных метеоявлений;
- номер пересекаемых трасс других ЛА;
- сигнал утраты сопровождения;
- другой узкоспециальной информации, связанной с реализацией функционального предназначения элемента МКС.

Возможен вывод в отдельных модальных окнах любых других дополнительных данных или текущих значений характеристик работы узлов, агрегатов или отдельных приборов. Так, например, оператор может вывести в отдельном модальном окне динамически изменяющиеся параметры работы бортовой радиолокационной станции для оперативной оценки точности реализации функции целевого предназначения беспилотника вскрытия обстановки, что показано на рисунке П1.2. Интерфейс пользователя некоторых НСУ БАК допускает адаптивную переконфигурацию различных полей вывода служебно-технической информации.

Также данная подсистема, как правило, обеспечивает возможность ввода оператором полетных данных, таких как:

- данных полетных заданий;
- привязку данных текущего полетного задания к трассе элемента МКС;
- прием элемента МКС под непосредственное управление посредством манипулятора (джойстика);
- сброс/взятие на автосопровождение;
- запрос на получение дополнительных данных как по телеметрии элемента МКС, так и по его функциональному предназначению.

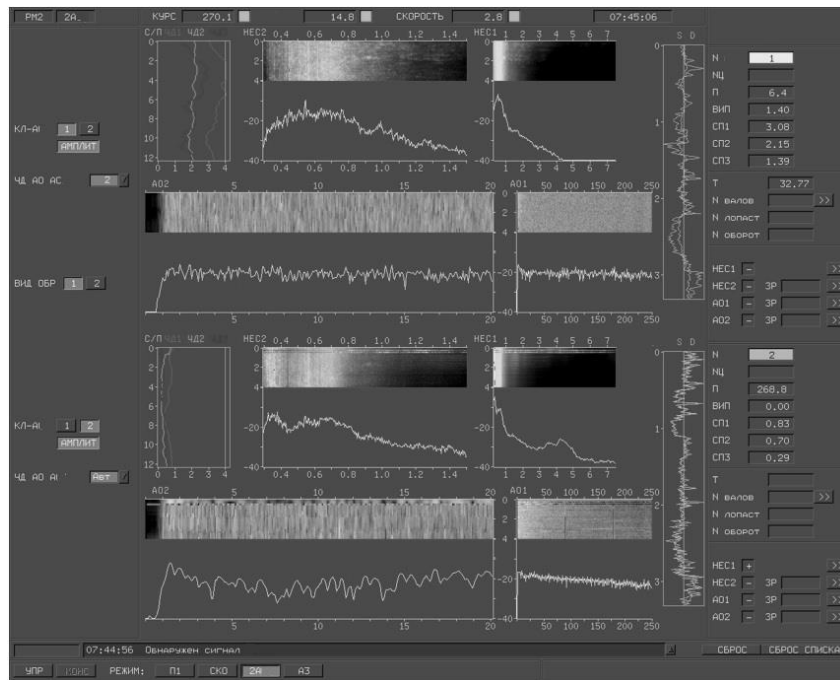


Рисунок П1.2 – Пример вывода дополнительных данных и текущих значений характеристик работы узлов, агрегатов или отдельных приборов

## 2. Подсистема телекоммуникации

Предназначение:

- Мультиплексный обмен цифровыми данными с аппарата, как для управления полетом, так и для решения задач целевого предназначения;
- Обеспечение решения задач ретрансляции цифровых потоков данных от других БАК;
- Реализация функций помехозащищенности каналов связи с элементами МКС в условиях как естественных, так и целенаправленных помех.

Обеспечиваемые технические возможности:

- Автоматическая/полуавтоматическая подстройка полосы пропускания к текущим условиям загрузки частного спектра в зоне полета;
- Долгосрочная работа на наибольшей мощности радиопередатчика (до 24 ч. в сутки, в течении 3-х суток);
- Поддержание параметров высокой технической надежности: периодическое автотестирование, наличие «горячего» резерва аппаратных средств, возможности быстрого переконфигурирования в сочетании с модульной структурой;

- Автоматическое ведение журнала учета событий в электронном виде;
- Поддержание интуитивно-понятного интерфейса оператора;
- Минимальные массогабаритные характеристики.

### **3. Подсистема независимой от элементов МКС телеметрии и идентификации**

Предназначение:

- Пеленгование всех ЛА в зоне применения БАК, т.е. определение текущих азимута, угла места и дистанции;
- Снятие телеметрических траекторных параметров полета;
- Идентификация аппарата в сложной навигационной обстановке, учет данных идентификации всех ЛА в зоне применения БАК;
- Текущее измерение наклонной дальности элемента МКС относительно географической точки контрольной установки.

Подсистема независимой от МКС телеметрии и идентификации, как правило, реализует пеленгование амплитудо-модулированных сигналов-меток от элементов МКС методом сдвига фаз.

Идентификация аппарата из состава БАК производится по принципу «запрос-ответ», а других ЛА в зоне полета по транспондерам индивидуального опознавания.

### **4. Подсистема обеспечения взлета и посадки**

Подсистема обеспечения взлета и посадки является самой вариабельной по числу возможных исполнений, т.к. в зависимости от размеров и ценности элементов МКС на практике реализуются самые различные способы взлета (с рук оператора, с катапульты, вертикально из точки взлета, с использованием взлетно-посадочной полосы и т.д.) и посадки (свободное падение на парашюте, вертикально в точку посадки, на взлетно-посадочную полосу и т.д.). В данном случае рассмотрен вариант обеспечения взлета и посадки с взлетно-посадочной полосой.

Предназначение:

Подсистема обеспечения взлета и посадки предназначена для излучения

специальных высоко-частотных сигналов в определенном секторе, содержащих цифровые данные, принимаемые на борту аппарата с соответствующими устройствами приема, что позволяет определять его местоположение и позиционировать относительно оси взлетно-посадочной полосы во время взлета, захода на посадку, посадки.

Состав подсистемы:

- радиомаяк удержания курса по оси взлетно-посадочной полосы;
- радиомаяк удержания на глиссаде снижения и посадки;
- радиомаяк контроля азимутального угла аппарата при заходе на посадку, а также других ЛА в зоне применения БАК;
- дальномер взлета/посадки с приемоответчиком, либо с радиомаяками-маркерами;
- радиолокационная станция контроля дальней зональности;
- локальные приборы управления.

## **5. Подсистема мониторинга обстановки и контроля местоположения**

Подсистема мониторинга обстановки и контроля местоположения представляет собой специализированную, интегрированную в НСУ БАК, радиолокационную станцию, освещающую обстановку в круговом или секторном режимах, с различными темпами обновления данных зондирования.

Предназначение:

- Формирование общей информационной модели обстановки в зоне применения элементов МКС;
- Расчетное прогнозирование траекторного движения всех ЛА в зоне применения, обеспечение пространственной безопасности элементов МКС;
- Оценка текущих параметров движения элементов МКС и всех ЛА в зоне (Курс, скорость, высота, широта места, долгота места).

Подсистема мониторинга обстановки и контроля местоположения занимает центральное (основное) положение в функционале НСУ БАК, в силу чего ей обеспечивается высочайший уровень надежности путем сто процентного резервирования всей аппаратной части, приборов и источников электропитания

и пр.

## **6. Интегрированный компонент радиоэлектронной аппаратуры на борту элементов МКС**

Интегрированный компонент радиоэлектронной аппаратуры на борту обеспечивает итоговую реализацию всего процесса управления элементами МКС, путем выдачи управляющих сигналов-воздействий на силовые исполнительные механизмы, реализует алгоритмику робототехнического управления, а также поддерживает обратную связь с подсистемами НСУ БАК. Он включает в свой состав аппаратуру и программное обеспечение оконечной реализации функционала вышеописанных систем, а также модуль самостоятельного местопределения и позиционирования. Конкретные варианты комплексирования функциональности, модульных исполнений, специфики распределения задач между аппаратной и программной частями и пр. могут быть в разных моделях интегрированной компоненты радиоэлектронной аппаратуры на борту элементов МКС самой различной. В современных условиях в качестве модуля самостоятельного местопределения и позиционирования традиционно выступает транспондер фиксации местоположения и времени по спутникам систем глобального позиционирования GPS (США), ГЛОНАСС (РФ) и реже GALILEO (ЕС). В некоторых БАК допускается исключительно полярное позиционирование относительно реперной точки координируемой НСУ, что приводит к упрощению процессов пространственного управления, но значительно снижает автономные возможности беспилотного летательного аппарата.

## Приложение Б

### Принципиальная модель управления автономным элементом МКС при его навигации с использованием цифровых картографических наборов данных

В основу управления автономным, роботизированным элементом МКС при его навигации с использованием цифровых картографических наборов данных положена совокупность принципов выработки управляющих воздействий на основе результатов слияния данных от интегрированной компоненты радиоэлектронной бортовой аппаратуры с данными, получаемыми от НСУ и координируемыми по цифровым наборам геоданных, а также интеграции программных компонент обработки информации от подсистем телеметрии и идентификации, мониторинга и контроля местоположения. На сегодняшний день понятие цифровых картографических наборов пространственных данных не является устоявшимся и различными научными школами трактуется по-разному. Однако, в рамках данного приложения Б автор придерживался терминологии по геопространственным данным, вводимой ГОСТ Р 50828-1995; ГОСТ Р 57656-2017; ГОСТ Р 57668-2017, а в части квалиметрии указанных данных – ГОСТ Р 57773-2017 [33-37].

Моделирование непосредственного управления полетом и навигации в геопространстве реализуется с использованием информационных технологий обработки сложно-структурированных пространственных данных на основе соответствующих онтологий, разработанных для различных предметных областей. Базой для синтеза управляющих воздействий является алгоритм типового (“правильного”) протекания полета. Уровень отклонения того или иного параметра полета от типового алгоритма его протекания задает необходимость и объем управляющего воздействия. Конечной текущей целью указанного управляющего воздействия всегда есть снижение такого отклонения до удовлетворяющего значения. Тогда задача оптимальной навигации по совокупности пространственных параметров с учетом изменения фазовых координат  $x$ ,  $y$ ,  $h$  в зависимости от времени  $t$  принимает вид:

$$u(t_i) = f[x(t_{i-1}), y(t_{i-1}), h(t_{i-1}), x(t_i), y(t_i), h(t_i), t_i], t_i \in [0, T_{\max}], i = 1, \dots, M ; \quad (\text{П2.1})$$

Иными словами, управляющие воздействия  $u(t_i)$  обеспечивают для навигации роботизированного элемента МКС корректирующие воздействия  $S_{t_i}$  на его местоположение и движение в геопространстве, воздействия на изменение его функциональной модели (текущей в реализации функциональности и/или режимов полета)  $R_{t_i}$ , а также связанных с оптимизацией внутренних процессов управления  $Y_{t_i}$

$$u(t_i) := \{S_{t_i}, R_{t_i}, Y_{t_i}\}, S_{t_i} \subset \Omega_S, R_{t_i} \subset \Omega_R, Y_{t_i} \subset \Omega_Y, i = 0, \dots, M. \quad (\text{П2.2})$$

Тогда становится возможным задачу оптимальной навигации по совокупности пространственных параметров с учетом изменения фазовых координат  $x, y, h$  в зависимости от времени  $t$  сформулировать как задачу поэтапного (шагового) подбора допустимого управления из некоторой последовательности альтернатив:

$$\{u(t_1), u(t_2), \dots, u(t_i), \dots, u(t_M)\} \quad (\text{П2.3})$$

которое дает возможность получить общую эффективность  $P(u(t))$  навигации автономного аппарата не менее некоторого, заданного  $P_3$ , т.е.:

$$P(u(t_i)) \geq P_3 \quad (\text{П2.4})$$

и/или добиться максимального или минимального значения (в зависимости от конкретизированной постановки задачи управления):

$$P(u(t_i)) \Rightarrow \max / P(u(t_i)) \Rightarrow \min. \quad (\text{П2.5})$$

Пошаговый подбор такого допустимого управления из множества альтернатив является воплощением финишного уровня соответствующей модели обеспечения эффективности протекания процессов в геопространстве на базе подходов ситуационного управления из [56,57] в автономной, роботизированной системе геопространственной навигации, что и дает возможность говорить о корректности постановки задачи выработки управляющих воздействий на соответствующие значения параметров движения (полета). На базе указанной искомой модели синтезируется модель управления автономным элементом МКС при его навигации с использованием цифровых

картографических наборов данных. Обобщенно существо синтезированной модели управления показана на рисунке П2.1.

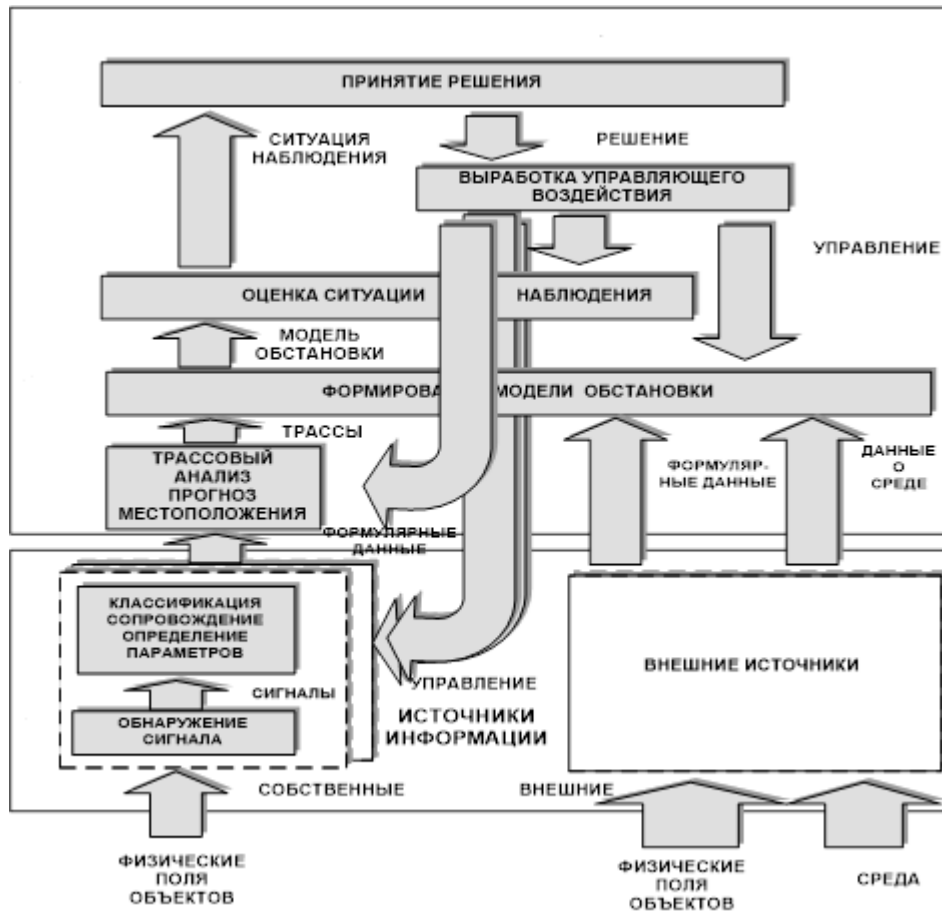


Рисунок П2.1.- Обобщенное представление модели управления автономным элементом МКС при его навигации с использованием цифровых картографических наборов данных

Тогда, исходя из решений, представленных в [50,51], становится возможным проведение функционально-логического разложения процесса поэтапного (шагового) управления навигацией в полете по основанию «семейство конкретизированных воздействий на элементы движения (полета) в геопространстве»:

$$\begin{aligned} & \{u_1(t_1), u_1(t_2), \dots, u_1(t_M)\}_1; \\ & \{u_j(t_1), u_j(t_2), \dots, u_j(t_M)\}_j; \\ & \{u_k(t_1), u_k(t_2), \dots, u_k(t_M)\}_K. \end{aligned} \quad (\text{П2.6})$$

В системе алгебраических семейств  $j=1, \dots, K$  - индексация количества конкретизированных воздействий на элементы полета автономного элемента МКС в геопространстве.



Каждый из типов автономных, роботизированных элементов МКС (полностью автономные, периодически актуализирующие модель обстановки, частично роботизированные и пр.) характеризуется определенным методом управления, соответствующей совокупностью управляющих воздействий, строго определенными критериями эффективности навигации, а значит особенности их навигации с использованием цифровых картографических наборов данных необходимо рассматривать применительно к каждому из указанных типов.

А) Автономные элементы МКС из состава БАК, получающие пространственные данные из распределенной системы источников полетной информации;

В условиях объективной изменчивости наземной и воздушной сред потенциал получения пространственных данных из распределенной системы источников полетной информации существенно зависит от геопространственных координат расположения таких источников. Он определяется для каждого из множества гетерогенных источников глубиной зональности мониторинга, в рамках которой вероятность выявления другого летящего или реперного, наземного объекта является параметром, значение которого не менее заданного. Результативность такого источника данных для элемента МКС (и БАК, в который он входит) математически описывается следующим выражением:

$$\Phi_i = \iiint_{V_i} F(x, y, z) dx dy dz = \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} dz \iint_S F(x, y) dx dy; \quad (\text{П2.7})$$

где  $F(x, y, z)$  - закон распределения плотности вероятности выявления другого летящего или реперного, наземного объекта, в объеме трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга;

$F(x, y)$  - закон распределения плотности вероятности выявления другого летящего или реперного, наземного объекта на некотором горизонтальном срезе трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга;

$Z_{\min}$  - наименьшее из возможных значение удаления другого летящего или реперного, наземного объекта;

$Z_{\max}$  - наибольшее из возможных значение удаления другого летящего или реперного, наземного объекта.

$S$  – значение площади горизонтального среза трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга.

Для случая зоны мониторинга, которая гарантирует фиксацию другого летящего или реперного, наземного объекта, т.е. при

$$F(x, y, z) == F(x, y) == 1 \quad (\text{П2.8})$$

результативность источника пространственных данных по текущей обстановке оценивается как:

$$\Phi_i == \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} S(z) dz \quad (\text{П2.9})$$

где  $S(z)$ - значение площади горизонтального среза трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга на горизонтальном уровне  $Z$ .

Задача оптимальной навигации по совокупности пространственных параметров с учетом изменения фазовых координат  $x, y, h$  в зависимости от времени  $t$  в данном случае заключается в таком размещении источников информации для БАК, которое отвечает следующему критерию оптимальности:

$$P_{\text{выявл}} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sum_{i=1}^N \Phi_i}{V_0}\right)\right] \Rightarrow \text{MAX}, \quad (\text{П2.10})$$

где:  $P_{\text{выявл}}$  - вероятность выявления другого летящего или реперного, наземного объекта, в объеме зоны мониторинга;

$V_0$  - объем трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга;

$N$  - общее количество источников полетной информации, передающих данные в БАК.

При этом необходимо учитывать, что

$$V_0 == \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} S_0(z) dz, \quad (\text{П2.11})$$

где  $S_0(z)$  - значение площади горизонтального среза трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга, в границах которой возможен геофенсинг элементов МКС.

При равномерном распределении другого летящего или реперного, наземного объекта в объеме трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга -  $w(x, y, z) = const$ , критерий оптимальности (П2.10) предусматривает задание такого картежа геопространственных данных  $(x_i, y_i, z_i)$ , описывающих местоположение указанных объектов, который обеспечивает максимизацию аддитивного потенциала мониторинга  $\sum_{i=1}^N \Phi_i$  распределенной системы источников полетной информации при следующих логико-функциональных ограничениях:

- 1) на полноту и равномерность плотности покрытия  $v$  распределенной системой источников полетной информации всего объема трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга  $V_0$ , т.е. :

$$v_1 = v_2 = v_3 = \dots v_i \dots = v_N \quad (\text{П2.12})$$

$$v_i = \frac{\Phi_i}{V_{0i}} = const, \quad (\text{П2.13})$$

где  $V_{0i}$  - обособленная часть зоны мониторинга, выделенная для контроля  $i$ -му источнику полетных геопространственных данных.

- 2) на недопустимость перекрытия обособленных частей зон мониторинга  $V_{0i}$  источников полетных геопространственных данных (при  $\sum_{i=1}^N \Phi_i \leq V_0$ ) и/или строго одинаковый размер указанных перекрытий для всех соседних источников полетных геопространственных данных (при  $\sum_{i=1}^N \Phi_i > V_0$ ).

При неравномерной плотности распределения другого летящего или реперного, наземного объекта в объеме трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга  $w(x, y, z) \neq const$ , критерий оптимальности (П2.10) предусматривает задание такого картежа геопространственных данных  $(x, y, z)$ , описывающих местоположение указанных объектов, который обеспечивает

разрешимость в каждой точке трехмерной фигуры, характеризующей зону мониторинга соответствующего уравнения:

$$\exp[-F(x, y, z)]w(x, y, z) = \lambda = \text{const} , \quad (\text{П2.14})$$

где  $F(x, y, z)$  - суммарно реализуемый закон распределения системы источников полетной информации. При этом значение  $\lambda$  задает подобласти зоны мониторинга, в которых оптимально разместить источники полетной информации – сенсоры выявления изменений геопространственных данных.

Тогда решение задачи оптимальной навигации по совокупности пространственных параметров с учетом изменения фазовых координат заключается в наращивании количества источников полетной информации – реализаторов функционала мониторинга за другими летящими или реперными, наземными объектами в обособленных частях зоны мониторинга с наиболее высокой плотностью вероятности нахождения указанных объектов, а следовательно возникает возможность оценить объем усилий БАК на управление элементами МКС по геопространственным данным из распределенной системы источников полетной информации:

$$\tilde{\Phi}_0 = \sum_{i=1}^N \iiint_{V_i} F(x, y, z) dx dy dz. \quad (\text{П2.15})$$

Следовательно, определив уточненное значение  $\lambda$ , и соответствующую глубину мониторинга, обеспечиваемую источником полетных геопространственных данных  $V_u$ , на основе анализа интегральной свертки:

$$\Phi(\lambda) = \iiint_{V_u} \{\ln[w(x, y, z)] dx dy dz\} - V_u \ln(\lambda), \quad (\text{П2.16})$$

становится возможным выразить (описать математически и рассчитать конкретные численные значения параметров) всю совокупность управляющих воздействий (П2.6) на систему распределенных источников геопространственных данных по летящим или реперным, наземным объектам, отвечающим следующему равенству:

$$\Phi(\lambda) \approx \tilde{\Phi}_0 \quad (\text{П2.17})$$

и строго определить (закрепить в геопространстве, на электронной карте в ГИС) ту часть зоны мониторинга, в которой концентрируются ресурсы системы источников полетной информации  $V_u$ , обеспечивающих БАК геопространственными данными по вышеуказанным объектам.

После закрепления части зоны мониторинга, в которой концентрируются ресурсы системы источников полетной информации  $V_u$  необходимо провести установку точных координат размещения источников полетных данных в пределах, ограниченных текущим параметром  $\lambda$ , опираясь на соотношение:

$$\Phi_i = \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_{y_{i-1}}^{y_i} dy \int_{x_{i-1}}^{x_i} \{\ln[w(x, y, z)]\} dx - (x_i - x_{i-1})(y_i - y_{i-1})(z_i - z_{i-1}) \ln(\lambda), \quad (\text{П2.18})$$

Соответственно, если при фиксированных параметрах  $V$  и  $\lambda$  взаимным расположением источников геопространственных данных о других летящих или реперных, наземных объектах в зоне мониторинга не удастся добиться выполнимости неравенства

$$\Phi_1 = \sum_{i=1}^N \Phi_i \geq \tilde{\Phi}_0 \quad (\text{П2.19})$$

то эти параметры надо пересчитать для случая строго равенства  $\tilde{\Phi}_0 = \Phi_1$  и т.п.

Вероятность достаточной результативности выявления другого летящего или реперного, наземного объекта, в объеме зоны мониторинга по геопространственным данным от сети источников полетной информации, построенной по выше представленной расчетной схеме (модели), выводится как:

$$P_{\text{результ}} = \iiint_{V_u} \{w(x, y, z) dx dy dz\} - V_u \lambda \quad (\text{П2.20})$$

Состояния функционирования элементов и отдельных частей сети источников полетной информации  $R_i$  в ходе описываемой рационализации (оптимизации) реализуются с учетом обеспечения каждым элементом наибольших значений результативности воздействий по геопространственным данным на управляемые параметры навигации (полета) элемента МКС из состава рассматриваемого БАК :

$$R_i : \Phi_i = \iiint_{V_i} F(x, y, z) dx dy dz \Rightarrow \max, \quad R_i \subset \Omega_R, \quad (\text{П2.21})$$

Б.) Роботизированные элементы МКС, актуализирующие пространственные данные от наземной системы дистанционного управления;

Роботизированные элементы МКС, периодически актуализирующие пространственные данные от НСУ, применяют геопространственные данные, которые загружаются предварительно в оперативную память бортового компьютера. Такие данные актуализируются периодически по отдельному каналу связи с НСУ. При этом предполагается, что круг решаемых задач значительно уже, чем в варианте А.). Так, например, традиционно решаются задачи пространственной безопасности полета или их совместного применения. Такие задачи сводятся к траекторному анализу взаимного расположения элементов МКС и других подвижных объектов в геопространстве. Показателем результативности такого траекторного анализа выступает вероятность перепутывания траекторий  $P_n$ . Достижение снижения вероятности перепутывания траекторий достигается процессом уменьшения погрешности в локализации элемента МКС и расположений других летящих объектов в зоне мониторинга. Технически этот процесс сводится к отбору отметок от разнесенных источников полетных данных по нескольким координатам, а также использованием дополняющих признаков всех элементов МКС и других ЛА в зоне мониторинга. Существующие и применяемые приемы обработки таких пространственных данных позволяют задать т.н. стробы сопровождения не только в горизонтальной, но и вертикальной плоскостях. Для чего в бортовых средствах компьютерной техники аппаратов и НСУ воплощаются соответствующие расчетные методики, позволяющие добиться локализации таких объектов именно в вертикальной плоскости. Обязательным условием реализации таких методик и алгоритмов стробирования, обработки первичной полетной информации и является использование геопространственных данных, обеспечивающих моделирование передаточной функции среды распространения зондирующих сигналов от средств системы мониторинга. Аналогично геопространственные данные используются в БАК для идентификации других элементов МКС или ЛА, установленных в геопространстве различными

источниками полетных данных из состава системы мониторинга. Например, для подтверждения предположения о характере полета другого элемента МКС, ведомого несколькими источниками полетных данных.

В таком варианте оптимальным инструментарием обработки пространственных данных, при невозможности их долгой актуализации, как правило, выступают программные системы, основанные на знаниях, со следующим функционалом: 1.) установление параметров и признаков, свойственных маневрам элементов МКС и других ЛА в тех или иных особенных ситуациях или относящихся к специальным классам использования; 2.) придание допвозможностей в интерпретации цифровых пространственных данных о характеристиках объектов, выступающих в качестве реперных географических точек, поступающих от смежных информационно-мониторинговых систем; 3.) формирование гипотез по траекториям полета элемента МКС и других ЛА, на основе цифровых наборов геопро пространственных данных по району мониторинга.

В.) Автономные элементы МКС, не актуализирующие имеющую модель обстановки

Информационная модель обстановки в автономных элементах МКС, не актуализирующих её в процессе полета, формируется на базе цифровых наборов картографических геоданных, загружаемых в память бортового блока числового программного управления (бортовой программно-аппаратный комплекс) при подготовке к полету. Такая модель в инфологическом понимании являет собой, как правило, терм-множество условных обозначений геопро пространственных объектов, учтенных на навигационной авиакарте и репрезентирующих объективное существование артефактов реального мира, сложных объектов инфраструктуры человеческого социума и природных пространственных объектов в назначаемых границах того или иного геопро пространственного района [37]. Информационная модель обстановки в автономных элементов МКС, не актуализирующих её, выступает в качестве базовой основы, на платформе которой осуществляется моделирование и выявление класса складывающейся в процессе полета искомого аппарата геопро пространственной ситуации.

Соответственно, на её же базе осуществляется прогноз развития геопро пространственной ситуации и принимаются навигационные автоматизированные решения, поддерживающие достижение решений назначенного круга задач для элемента МКС.

В информационной модели геопро пространственной обстановки в автономных аппаратах, не актуализирующих её, традиционно выделяют 2 аспекта, а именно статический и динамический. Статический аспект есть заранее оговоренная в нотации обозначений совокупность графических объектов, характеристик этих объектов, а также других геоданных пространственной обстановки, которые во времени не подлежат изменению, т.е. они неизменны в границах временных рамок полета и автоматизированного принятия управленческих решений в его системе интеллектуального анализа полетных данных. В интересах формирования указанного аспекта информационной модели геопро пространственной обстановки в автономных элементах МКС, не актуализирующих её, применяются геопро пространственные данные, предварительно инсталлированные в соответствующую бортовую базу данных указанного летательного аппарата. В свою очередь, указанный динамический аспект есть заранее оговоренная в нотации обозначений совокупность графических объектов, характеристик этих объектов, а также других геоданных пространственной обстановки, которые могут меняться в границах временных рамок полета и автоматизированного принятия управленческих решений в его системе интеллектуального анализа полетных данных. В интересах формирования динамического аспекта информационной модели геопро пространственной обстановки в автономных элементах МКС используются данные поступающие от бортовых систем наблюдения и мониторинга и преобразуемые в определенные виды геопро пространственных данных, после обработки входного потока данных специальными логико-математическими методами. Очевидно, что объем таких динамически обновляемых геоданных не велик.



Указанные специальные логико-математические методы обработки входного потока данных пространственного мониторинга для элементов МКС дают в современных условиях возможность формировать на базе всей совокупности геопространственных данных, имеемых в бортовом программно-аппаратном комплексе, как двухмерные, так и трехмерные информационные модели геопространственной обстановки [35].

Критерием результативности реализации информационной модели геопространственной обстановки в автономных элементах МКС, не актуализирующих её в реальном масштабе времени, выступает факт достижения наибольшего значения ее достоверности  $P_d$  по отношению к реальной обстановке, наблюдаемой системой мониторинга. Такая достоверность выражается через полноту  $p_s$ , точность  $p_\sigma$  и своевременность  $p_t$  представляемых интеллектуальной информационно-аналитической подсистеме бортового программно-аппаратного комплекса МКС геопространственных данных, что аналитически представимо:

$$P_d = f(p_s, p_\sigma, p_t) \Rightarrow \max \quad (\text{П2.22})$$

Трехмерные модели геопространственной обстановки для автономных аппаратов эффективнее чем двумерные. Однако, именно трехмерные модели нуждаются при своем формировании в дополнительных гео- и метаданных, они допускают также формирование базы трехмерных изображений, а соответственно предъявляют более строгие требования к вычислительным возможностям и объему оперативной памяти программно-аппаратных комплексов МКС, воплощающим в жизнь функциональность этого вида моделей.

Г) элементы МКС, телеуправляемые с НСУ, использующих геопространственные данные для организации навигации

Использование геопространственных данных в элементах МКС, телеуправляемых с НСУ, расширяет потенциал синтеза параметров, описывающих геопространственную ситуацию вокруг искомого аппарата. В

таких целях применяют специфические программные (математико-аналитические) модели. В результате логистической опоры на геопространственные данные для организации навигации в воздушном геопространстве дает возможность оператору НСУ оперативно принять решение о классе текущей геопространственной ситуации, о нужности реализации в данный момент управляющих воздействий на контролируемые параметры полета и пр. Показателем эффективности в такой оценке геопространственной ситуации с элементами МКС и назначения управляющих воздействий является степень достижения наибольшего значения вероятности правильного отнесения текущей геопространственной ситуации к соответствующему классу ситуаций  $P_{\text{кл}}$ , и, соответственно, степень достижения наименьшего времени определения класса ситуации  $T_{\text{кл}}$ .

В рамках данного варианта Г.) информационно-логическое моделирование полета, телеуправляемые с НСУ, использующих геопространственные данные для организации навигации, следует рассматривать, как некоторое гомоморфное преобразование исходной полетной и объектовой информации, а так как гомоморфизм всегда синтезирует некоторую модель, то определение соответствующей формы гомоморфизма зависит от того, какие характеристики полета аппарата считаются существенными при моделировании. При этом основным постулатом моделирования представляется многообразие. Его воплощение применительно к задаче синтеза параметров, описывающих геопространственную ситуацию вокруг искомого элемента МКС заключается в репрезентации иерархии и моделей предметных формализованных знаний. Это означает, что на семействе моделей предметных формализованных знаний задана некоторая модель  $M = \{M_i, i = \overline{1, n}\}$  бинарного отношения  $r_M = \langle M, R_M \rangle, R_M \subseteq M \times M$ . Это отношение далее понимается как отношение моделирования, определяемое на базе уровня моделирования: модель  $M_i (i = \overline{1, n})$  есть модель предметных формализованных знаний  $i$ -го уровня системы

формализации и моделью  $(i-j)$ -го уровня в соотношении к модели  $M_j$  ( $j = \overline{1, i}$ ). Так, пусть некоторая модель  $M_3$  является моделью предметных формализованных знаний третьего уровня и, соответственно, моделью второго уровня в соотношении к  $M_1$ . Тогда факт того, что пара моделей  $\langle M_i, M_j \rangle$  ( $i, j = \overline{1, n}; i \geq j$ ) связана отношением моделирования (Этот факт формально записывается как  $M_i r_M M_j$  или как  $\langle M_i, M_j \rangle \in R_M$ ) сущностно означает: модель предметных формализованных знаний  $M_i$  есть метамодель ( $i-j$ )-го уровня по отношению к модели  $M_j$ . Очевидно наличие у такого отношения следующих алгебраических свойств:

а) рефлексивности

$$\forall (i = \overline{1, n}) M_i r_M M_i, \quad (\text{П2.23})$$

Когда каждая из моделей предметных формализованных знаний есть т.н. «модель самой себя»;

б) антисимметричности

$$\forall (i, j = \overline{1, n}, i \neq j) M_i r_M M_j \rightarrow \neg (M_j r_M M_i), \quad (\text{П2.24})$$

Когда имеет место направленность моделирования в сторону возрастания степени формализации модельных представлений предметных знаний;

в) транзитивности

$$\forall (i, j, k = \overline{1, n}) M_i r_M M_j \wedge M_j r_M M_k \rightarrow M_i r_M M_k, \quad (\text{П2.25})$$

При наличии т.н. промежуточной модели итоговый уровень моделирования задается как аддитивность всех уровней формализации  $i - k = (i - j) + (j - k)$ , при этом модель  $j$ -го уровня выступает одновременно в 2 ролях: как метамодель в отношении к  $M_k$  и как детализирующая модель в соотношении к модели  $M_i$ ;

г) полноты

$$\forall (i, j = \overline{1, n}) M_i r_M M_j \vee M_j r_M M_i, \quad (\text{П2.26})$$

Когда обеспечивается сравнимость по отношению  $r_M$  моделей предметных формализованных знаний  $M$ .

Алгебраические свойства (П2.23-25) описывают в своей совокупности задание на семействе  $M$  нестроого порядка, а свойство (П2.26) преобразует этот порядок в линейный. Количество этапов преобразования в описанной цепочке моделей, как правило, определяется спецификой моделируемых элементов МКС, телеуправляемых с НСУ, а также узкой спецификой организации навигации такого летательного аппарата в реальных условиях обстановки.

Исходя из особенностей предметной области применения элементов МКС, телеуправляемых с НСУ, использующих геопространственные данные для организации навигации, возможно задать ряд уровней модельной формализации предметных знаний, которые принято обозначать как: содержательный, структурно-содержательный, структурно-формальный, формальный и программный. Тогда специфика репрезентации предметных формализованных знаний на каждом из выше указанных уровней будет заключаться в следующем:

1. Концепт-модель предметных формализованных знаний, выступая в роли первичной модели, соответствует вербализованному или текстовому описанию системы понятий предметной области применения элементов МКС и их логических связей.
2. Построение структурно-содержательной модели предметных формализованных знаний заключено в структурировании определенного подмножества понятий предметной области, т.е. формированием структуры знаний в явном виде.
3. Структурно-формальная модель предметных формализованных знаний содержит 2 соответствующих компоненты: структурная, тождественна сопоставленной компоненте структурно-содержательной модели, а, формальная, включает с себе результат формализации содержательной составляющей средствами языка представления знаний или программирования.
4. Формальная модель предметных формализованных знаний, определяется неналичием структурной составляющей и наличием соответствующих формальных, чисто языковых конструкций, с использованием которых проводится формализация указанных знаний.

5. Итоговая, программная модель предметных формализованных знаний синтезируется как итог перевода формальной модели с использованием выше указанных программно-инструментальных средств представления предметных знаний в программный код.

Таким образом, описанная выше принципиальная модель управления автономным элементом МКС при его навигации с использованием цифровых картографических наборов данных, с уточняющими её подмоделями, составляет методологическую базу для рассмотрения процессов проектирования и разработки программного обеспечения для бортовых систем навигации и пространственного управления элементами МКС различных типов и классов.

## Приложение В

Таблица ПЗ.1. - Сводный перечень БАК отечественной разработки и постройки (по данным открытых источников)

Наименование БАК (открытый бренд)	Целевое предназначение	Дата ввода в эксплуатацию/ принятия на снабжение	Общее количество построенных изделий на 2019 г.	Разработчик (Производитель)	Краткое описание технических характеристик из открытых источников
1. БАК Геоскан 201	аэрофотосъемка	2014	>200	Группа компаний «Геоскан»	время полета до 3 часов
2. DELTA-M	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2014	>12	ООО НПП «Автономные аэрокосмические системы — ГеоСервис»	- 3-х осевая стабилизирующая поворотная платформа - дальность до 30км, - до 3 часов в воздухе - вес 9 кг - многоступенчатая система самоспасения
3. БАК Птеро-G1	аэрофотосъемка	2012	26	ООО «ПТЕРО» (Группа компаний «ИнЭнерджи»)	взлетная масса 22 кг, время полета до 8 ч
4. БАК Геоскан 101	аэрофотосъемка	2012	>200	Группа компаний «Геоскан»	время полета до 60 минут
5. Рубеж-20	аэрофотосъемка мониторинговое	2012	>30	Группа компаний Аэрокон	
6. Гранат-4	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2012	>30	Группа компаний Аэрокон	
7. БАК АВИС	многоцелевое, мониторинговое	2011	>8	АО «Научно-производственное предприятие «Радар-ммс»	вес аппарата 4-6 кг, полезная нагрузка до 1,2 кг
8. БАК Орлан-3М	многоцелевое, оперативное	2011	5	АО Специальный технологический центр	дальность до 100 км, время полета до 3 часов
9. БАК Орлан-10	многоцелевое, оперативное	2011	>100	АО Специальный технологический центр	дальность до 600 км, время полета до 6 часов
12. Аероб 4D	многоцелевое	2010	>10	ООО «Аэроб»	дальность до 1200 км, взлётный вес до 30 кг
13. БАК S100	многоцелевое, оперативное	2010	52	ООО «Беспилотные Системы» г. Ижевск	время полета до 1 часа
14. БАК Т-3	оперативное, мониторинговое	2008	>200	АО Рисса	
15. БАК Типчак	аэрофотосъемка мониторинговое	2008	>1000	АО «Конструкторское бюро «Луч» (АО «Концерн «Вега»)	время полета до 3 часов, дальность до 600 км
16. ZALA 421-08	мониторинговое	2008	-	АО «Беспилотные системы»	применяются в составе группы
17. ZALA 421-06	мониторинговое	2011	12	АО «Беспилотные системы»	вертолетного типа
18. БАК Дозор-85	разведывательное	2007	>6	АО «Транзас»	время полета до 2 часов

19. А-4К	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2000	>10	АО «Конструкторское Бюро "Взлёт" (Концерн «Калашников» Корпорации Ростех)	вес аппарата 23 кг, полезная нагрузка до 3 кг
20. А-3 "Ремез"	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2000	>15	АО «Конструкторское Бюро "Взлёт" (ООО "Научно-промышленные системы")	вес аппарата 10 кг, полезная нагрузка до 2 кг
21. БАК Скот	военное	2010	>50	АО «Конструкторское Бюро МиГ» и АО «Конструкторское Бюро «Климов»	
22. БАК Штиль	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2011	23	Группа компаний «Индела»	Вертикальный взлёт и посадка
23. БАК Элерон	мониторинговое	2009	30	АО ЭНИКС	
24. БАК Элерон-3	военное, мониторинговое	2016	>100	АО ЭНИКС	
22. БАК Инспектор 201	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2013	100-150	Группа компаний Аэрокон	
23. БАК Иркут-2М	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2009	100	АО Научно-производственная компания «Иркут»	
24. БАК мБПВ-37-Б «Бриз»	военное, мониторинговое	2013	15	АО «Научно-производственное предприятие «Радар-ммс»	вертолетного типа с модульной загрузкой
25. БАК Иркут-850	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2011	100-150	АО Научно-производственная компания «Иркут»	время полета до 3 часов
26. БАК Иркут-10	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2014	50-60	АО Научно-производственная компания «Иркут»	
27. БАК Дозор-100	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2012	8	АО Транзас	Бортовая РЛС, взлет/посадка с ВПП
28. БАК БПВ-500	военное, мониторинговое	2011	5	АО «Научно-производственное предприятие «Радар -ммс»	вертолетного типа с модульной загрузкой
29. БАК Иркут-200	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2010	80-90	АО Научно-производственная компания «Иркут»	
30. БАК Инспектор 301	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2016	20	Группа компаний Аэрокон	время полета до 4 часов
31. БАК Дозор-600	военное разведывательное ударное	2014	5	АО Транзас	Бортовая РЛС, взлет/посадка с ВПП, наличие систем вооружения

32. БАК Орион	военное разведывательное ударное	2016	7	АО «РЕТ- Кронштадт»	Бортовая РЛС, радиоретранслятор, ОЭС, взлет/посадка с ВПП, наличие систем вооружения
33. БАК ZALA 421-04M	мониторинговое	2011	-	АО «Беспилотные системы»	применяются в составе группы
34. БАК Инспектор 101	многоцелевое, оперативное, мониторинговое	2012	80	Группа компаний Аэрокон	Вес = 250 грамм; Группа компаний Аэрокон
35. Элерон-10	военное	2017	10	АО «ЭНИКС»	
36. БАК Форпост	военное, мониторинговое	2010	10	АО "Уральский завод гражданской авиации"	Изготовлен по лицензии израильского разработчика



## Приложение Г

### **Базис-множество требований к составу и структуре разрабатываемых (формируемых, модернизируемых, совершенствуемых) ПК управления МКС**

Г1. Подмножество требований к проектированию и построению ПАК управления МКС

Г1.1. Группа требований к покомпонентной архитектуре ПАК управления МКС и объему её проектной проработки

Г1.1.1. Совокупность частных требований, проектных приемов и решений предусматриваемые в покомпонентной архитектуре ПАК управления МКС должны при проектировании и создании указанных комплексов иметь целью обеспечение эффективного и предметно-обусловленного управления объектами входящими в разнородную роботизированную авиационную группировку. Это требование в равной степени относится и к объектам наземной робототехники, и к объектам пилотируемой авиации, входящим в разнородную группировку.

Г1.1.2. Базовым источником оперативных (динамически-изменяющихся) данных для обоснования управленческих решений и воздействий на подчиненные силы и средства должен выступать информационный цифровой поток формируемый средствами наблюдения элементов МКС и разворачиваемыми средствами НСУ БАК, а также цифровые данные от взаимодействующих информационных систем и систем мониторинга окружающего пространства (района применения разнородной группировки МКС). Управляющие воздействия, вырабатываемые ПАК на основе решений, принимаемых оператором (расчетом операторов) должны обеспечивать не только изменение маневров элементов МКС и других объектов робототехники по курсу, тангажу и скорости, но и по возложенной прикладной функциональности полезной нагрузки.

Г1.1.3. Создаваемые ПАК и их функционал должны быть конфигурируемы применительно к частично изменяющимся целям практического применения разнородных роботизированных авиационных группировок.

Г1.1.4. В рамках разворачиваемых БАК с элементами робототехники и придаваемых под управление ПАК управления МКС наземных робототехнических комплексов, объектов пилотируемой авиации должна реализовываться сетцентрическая система инфотелекоммуникационного обмена, которая выступает информационно-транспортной основой для организации сбора и потоковой обработки информации в интересах управления группировкой.

Г1.1.5. ПАК управления МКС должен обеспечить эффективную потоковую обработку оперативной полетной информации в цифровом виде, для чего должна быть осуществлено сопряжение и согласование по техническим характеристикам средств обработки цифровой информации и телекоммуникационных средств в составе аппаратной платформы.

Г1.1.6. Аппаратная платформа ПАК управления МКС должна обладать модернизационным и модификационным потенциалом.

Г1.2. Группа требований к обоснованию состава и организации эксплуатирующего расчета ПАК управления МКС

Г1.2.1. В рамках технического проекта должен быть разработан штат эксплуатирующего (в т.ч. применяющего по назначению) персонала или расчета ПАК управления МКС. В рамках такого штата должны быть определены:

- штатная численность эксплуатирующего расчета ПАК управления МКС;
- должностная роль каждого из операторов управления и его функциональные обязанности при управлении подчиненными объектами;
- должностная роль каждого из сотрудников технического и обслуживающего персонала в различных типовых ситуациях управления разнородной группировкой, а также их функциональные обязанности;

- порядок подотчетности, статус старших по должности и по предназначению.

Г1.2.2. ПАК управления МКС должен быть, прежде всего, ориентирован на эксплуатацию штатным расчетом специалистов, но также должны быть предусмотрены внештатные (аварийные) режимы и варианты эксплуатации (в т.ч. применения по назначению) при различных ситуациях использования комплекса.

Г1.2.3. ПАК управления МКС должен предусматривать возможность развертывания на его базе различных организационных структур и пунктов управления различными силами в ходе специализированных операций, в ходе которых предполагается использование разнородных роботизированных авиационных группировок.

Г1.2.4. В техническом проекте ПАК управления МКС штат эксплуатирующего (в т.ч. применяющего по назначению) персонала, расчета должен быть представлен наглядно, в интуитивно понятной нотации представления с необходимым и исчерпывающим числом вербальных пояснений.

Г1.2.5. В процессе исполнения проекта и создания опытного образца ПАК управления МКС, формирования его аппаратной платформы, разработки соответствующего программного обеспечения первоначальный штат эксплуатирующего (в т.ч. применяющего по назначению) персонала должен (может) корректироваться.

Г1.3. Группа требований к проектированию и представлению процессов управления отдельными элементами МКС

Г1.3.1. Требования к проектированию и представлению процессов управления отдельными элементами МКС в конечном итоге должны быть представлены в виде конечного списка функциональных задач автоматизации, реализуемых в ПАК управления МКС.

Г1.3.2. Проектное решение по автоматизации управления отдельными элементами МКС должно охватывать все аспекты (взлетно-посадочные характеристики, тангаж и рысканье, углы взлета, посадки, атаки и пр.) и всю

последовательность этапов полета (руление, взлет, занятие позиции, реализация функционала полезной нагрузки, снижение, посадка и пр.). При этом должна обеспечиваться обоснованная поддержка решений операторов по управлению полетом элементов МКС, а также документирование всего хода полета и событий в процессе его управления.

Г1.3.3. Проектное решение по автоматизации управления отдельными элементами МКС должно в себе содержать:

- обобщенный перечень функций управления и управляющих воздействий на элементы МКС конкретного типа и вида;
- характеристику программно-информационного интерфейса доступа к РЭА на борту аппарата в рамках сетцентрической информационно-транспортной телекоммуникационной подсистемы;
- характеристику взаимосвязи принятых функций управления и управляющих воздействий на элементы МКС с задачами управления разнородной роботизированной авиационной группировкой;
- формализованное и поддетально представленное описание функций полезной нагрузки, а также степени их реализуемости в зависимости от работы РЭА на борту;
- список контролируемых индикаторов качества функционирования элементов МКС.

Г1.3.4. Формирование обобщенного перечня функций управления и управляющих воздействий на элементы МКС конкретного типа и вида должно осуществляться по следующим категориям степени детализации:

- обобщающие функции для решения задач группировки;
- функции навигации и местоположения в пространстве;
- частные функции решения задач полезной нагрузки;
- функции управляющих воздействий на исполнительные устройства и приводы элементов МКС.

- Г1.3.5. Формализованное и подетально представленное описание функций полезной нагрузки должно быть описано с использованием общеинженерной терминологии и с достаточной для понимания степенью детализации.
- Г1.3.6. Характеристика программно-информационного интерфейса доступа к РЭА на борту элементов МКС в рамках сетицентрической информационно-транспортной телекоммуникационной подсистемы должна быть сведена в принципиальную схему вложенности форматов, отвечающую модели взаимодействия открытых систем.
- Г1.3.7. По каждой функция управления, сводимой в конечном итоге к совокупности управляющих воздействий на элементы МКС конкретного типа и вида, должен быть установлен оператор из состава штатного расчета, инициирующий её реализацию. При этом необходимо в рамках технического проекта разработать и описать параметризованную ситуацию, в рамках которой оператор принимает решение на инициацию функции управления. Описание должно предусматривать декомпозицию представления согласно требованиям по п. Г1.3.4.
- Г1.3.8. По каждой функция управления, сводимой в конечном итоге к совокупности управляющих воздействий на элементы МКС конкретного типа и вида, должен быть установлен исполнительный компонент, т.е. такая совокупность модулей РЭА, исполнительных приводов и объектов воздействия (рули, элероны, обтекатели шасси, элементы осветительного оборудования и пр.) на борту элементов МКС, от которой зависит полноценное исполнение текущей функции управления.
- Г1.3.9. Каждая функция управления элементом МКС должна быть строго разграничена от других функций.
- Г1.3.10. В техническом проекте для каждой прикладной функции управления должен быть разработан и детально описан контрольный пример проверки практической реализации.
- Г1.3.11. Характеристики взаимосвязи принятых функций управления и управляющих воздействий на элементы МКС с задачами управления

разнородной роботизированной авиационной группировкой должны содержать данные как по комплексированию более простых функций управления аппаратом при реализации задач группировки, так и по информационному взаимодействию компонент ПАК управления МКС при решении соответствующих задач.

Г1.3.12. Описание схмотехнических решений должно оформляться в виде принципиальных электрических схем согласно ГОСТ ЕСКД.

Г1.3.13. Формализованное и подетально представленное описание функций полезной нагрузки должно выполняться в нотациях удобных для дальнейшей их программной реализации в перспективных языках объектно-ориентированного программирования.

Г1.3.14. Проектное решение по автоматизации управления отдельными аппаратами должно представлять собой сводный документ, включающий в себя краткую методику репрезентации описаний и численных характеристик реализуемых в ПАК управления МКС отдельных функций управления их элементами; содержательные разделы согласно пп. Г1.3.3. – Г1.3.12., схемы всех процессов функционирования в нотациях UML или схем функциональной целостности.

Г1.3.15. Результаты проведенного анализа отдельных функций и сложных процессов функционирования должны быть комплексно описаны в виде полноценного документа. Такой документ должен содержать детальное, констатирующее описание используемого методического аппарата, безусловно обеспечивающего выявление, предметную интерпретацию и формализованное представление всех значимых функциональных процессов, а также перечней задач автоматизации ПАК управления МКС ; UML-моделей системы автоматизируемых (программно-управляемых) функциональных процессов ПАК управления МКС.

Г1.3.16. Проектирование и представление процессов управления отдельными элементами МКС должно соответствовать требованиям

нормативно-технических регламентов, определяющих глубину проработки и степень детализации материала.

Г1.4. Группа требований к проектированию и представлению процессов управления группировкой МКС

Г1.4.1. Проектирование и представление процессов управления группировкой МКС предусматривает первоначальное определение состава и предназначения такой группировки. Такое определение осуществляется путем потенциального учета всей номенклатуры БАК, которые могут быть переданы под управление ПАК управления МКС. Для этого в рамках такой номенклатуры выявляются и фиксируются:

- предназначение, основная функциональность и технические характеристики БАК, которые могут передаваться под управление проектируемого ПАК управления МКС;
- предназначение, основная функциональность и технические характеристики наземных роботизированных, авиационных пилотируемых и других комплексов, которые могут передаваться под управление проектируемого ПАК управления МКС;
- технические и информационно телекоммуникационные характеристики систем, с которыми ПАК управления МКС должен быть способен осуществлять информационное сопряжение и взаимодействие.

Г1.4.2. В рамках технического проекта должны быть определены спецификации элементов МКС и других образцов робототехники, которые выступают объектами управления по отношению к ПАК управления МКС и являются элементами сетицентрической системы управления. Для этого по каждому элементу МКС и образцу наземной робототехники необходимо установить и отразить в техническом проекте:

- класс, модификацию и разрядность основного процессора;
- объем располагаемой на борту оперативной и кэш-памяти;
- объем располагаемой на борту долговременной (флэш) памяти;
- основные характеристики контроллеров выделенных блоков управления;

- пропускную способность основных каналов цифровой связи.

Г1.4.3. Спроектировать возможности сетицентрического взаимодействия с НСУ отдельных БАК, способных к передаче под управление ПАК управления МКС, для чего определить:

- количество, класс, модификацию и разрядность серверов в НСУ БАК;
- возможности (количество обеспечиваемых каналов связи, их пропускная способность, дальность действия и пр) телекоммуникационных подсистем НСУ БАК.
- возможности по обеспечению мобильности НСУ, а также времени развертывания/свертывания БАК;
- номенклатуру специфических задач, присущих только ПАК в составе НСУ;
- спецификацию радиоэлектронной, микроэлектронной и радиотехнической элементной базы НСУ БАК.

Г1.4.4. Должно быть реализовано предварительное структурирование сетицентрической архитектуры системы управления, которая будет организовываться в районе применения группировки МКС с использованием искомого ПАК. Для этого в рамках технического проекта должны быть заданы, а в рабочей конструкторской документации уточнены:

- количество, класс, модификация всего сетевого и ретрансляционного цифрового оборудования;
- жесткие технические параметры всего сетевого и ретрансляционного цифрового оборудования;
- расчет предельных нагрузок по передаче информации в рамках предусматриваемой сетицентрической архитектуры.

Г1.4.5. Должно быть реализовано включение в состав ПАК управления МКС средств фиксации объективных данных (типа «черный ящик»), независимого документирования и резервирования. Для этого в рамках технического проекта должны быть заданы, а в рабочей конструкторской документации уточнены:

- количество, класс, модификация средств фиксации объективных данных, независимого документирования и резервирования, включаемых в ПАК;



- номенклатуру частных задач, решаемых средствами фиксации объективных данных, независимого документирования и резервирования;
- расчет предельных нагрузок на средства фиксации объективных данных, независимого документирования и резервирования в ПАК управления МКС.

Г1.4.6. В рамках технического проекта должны быть заданы, а в рабочей конструкторской документации уточнены параметры технических и программных интерфейсов взаимодействия с внешними информационными системами, а именно:

- состав и номенклатуру внешних, взаимодействующих информационных систем;
- виды и параметры технических и программных интерфейсов взаимодействия;
- объем и тип контента предполагаемого обмена данными;
- возможности резервирования.

Г1.4.7. Проектирование и представление процессов управления группировкой МКС предусматривает использование уже имеемого у предприятия-исполнителя (разработчика) научно-технического задела по направлению создания ПАК управления МКС. Указанный задел должен быть также проанализирован на предмет применимости, согласно следующих требований, определяемых в ТЗ (ТУ):

- применимость новых информационных технологий;
- внедряемость новых видов структур данных и онтологий;
- обеспечение широких возможностей по модифицируемости и модернизации;
- анализ применимости принципиально новых каналов и видов связи;
- наличие возможностей модульной, блочной или компонентной замены в составе аппаратной платформы;
- анализ интенсификации потоковой обработки цифровых данных;
- институциональность применяемых технических и программных решений;
- наличие обеспечивающих материалов поддержки жизненного цикла (интерактивных электронных технических руководств, электронной документации и пр.);

- вопросы интенсификации подготовки операторов для ПАК управления МКС;
- реализация эргатических требований.

Г1.5. Группа требований к проектированию принципиальной покомпонентной структуры ПАК управления МКС

Г1.5.1. Требования к проектированию принципиальной покомпонентной структуры ПАК управления МКС должны формировать совокупность технологических и технических схем, методик и способов имеющей целью задать в ТЗ (ТУ) предлагаемые в ПАК укрупненные технические (аппаратные и телекоммуникационные), программные и информационно-технические решения.

Г1.5.2. В целях обоснованного задания укрупненных технических (аппаратных и телекоммуникационных), программных и информационно-технических решений в техническом проекте должна быть детализирована базисная информационная технология для ПАК управления МКС, обуславливающая организацию сетцентрического управления при потоковой обработке цифровых данных на различных гармонизированных средствах обработки, опираясь на единый подход к построению структуры указанного управления.

Г1.5.3. Технические (аппаратные и телекоммуникационные) и программные решения, определяемые выбранной базисной информационной технологией для ПАК управления МКС, должны быть нацелены на поэтапное улучшение качества данных, используемых при принятии решений на управление разнородной роботизированной авиационной группировкой, а именно на совершенствование точности, своевременности и релевантности указанных данных.

Г1.5.4. Требования к проектированию принципиальной покомпонентной структуры должны обеспечить принципиальную, системологическую сопрягаемость компонентов в ПАК управления МКС как технически, так и программно.

Г1.5.5. Требования к проектированию принципиальной покомпонентной структуры должны реализовать концептуальный способ потоковой обработки цифровых данных, поступающих от гетерогенных источников информации в сетицентрической распределенной системе управления, для чего следует:

Г1.5.5.1. Задать и определить методику применения при производстве, настройке общей схемы представления данных управления. Задать общую схему представления данных следует путем выявления основных классов элементов сетицентрической системы управления МКС в группировке и логических отношений между ними.

Г1.5.5.2. Задать и определить методику применения при производстве, настройке общей схемы обмена данными путем выявления основных классов каналов связи в сетицентрической системы управления МКС в группировке и логических отношений между ними.

Г1.5.5.3. Задать и определить методику преобразования цифровых данных, получаемых от внешних, взаимодействующих информационных систем.

Г1.6. Группа требований к обоснованию программных технологий обработки информации в ПАК

Г1.6.1. Основные программные технологии обработки информации в ПАК управления МКС должны быть технологически ориентированы на достижение функциональных целей указанных комплексов. Именно на базе этих технологий реализуются конкретизированные частные программные технологии решения стоящих прикладных задач ПАК. В традиционном варианте к основным программным технологиям обработки информации в ПАК управления МКС относятся:

- Геоинформационная система с объектно-ориентированным представлением пространственных данных;
- Система интеллектуальной поддержки принимаемых решений;
- Конфигуратор специализированных структур данных;
- Обработчик событий и анализа пространственных ситуаций;
- Электронный журнал учета событий и документирования;

- Тематические расчетные комплексы для анализа функциональности полезной нагрузки;
- Программная среда моделирования полетных заданий;
- Структурированная база данных справочной информации.

Г1.6.2. Геоинформационная система с объектно-ориентированным представлением пространственных данных – программно-информационная система, реализующая пространственное координирование географических данных и создающая картографическую основу для моделирования соответствующих перемещений управляемых объектов в геопространстве. Геоинформационная система с объектно-ориентированным представлением пространственных данных должна обладать следующими характеристиками:

- ориентацией на сетицентрический принцип получения цифровых геопространственных данных;
- клиент-серверной организацией;
- обеспечением интеграции данных от гетерогенных источников информации;
- применением развитой совокупности структур данных;
- внедрением в их состав средств интеллектуализации интерфейса;
- реализацией сервисной архитектуры.

Г1.6.3. Система интеллектуальной поддержки принимаемых решений – должна представлять собой встраиваемую систему искусственной интеллектуальности, настраиваемую (обучаемую) на принятие решений в типовых задачах предметной области соответствующих элементов МКС.

Г1.6.4. Конфигуратор специализированных структур данных должен позволять формировать концептуальную спецификацию данных предметной области применения элементов МКС заданного класса, определяющую исчерпывающую номенклатуру классов программных объектов и связей между ними, что позволяет осуществлять полноценное компьютерное моделирование процессов в указанной предметной области. Концептуальная спецификация данных предметной области применения элементов МКС должна обладать

свойствами непротиворечивости, полноты и минимальной информационной избыточности.

Г1.6.5. Обработчик событий и анализа пространственных ситуаций есть прикладная программно-функциональная надстройка над геоинформационной системой. Обработчик событий и анализа пространственных ситуаций должен позволять достигать следующие частные цели:

- выявления опасных пространственных ситуаций с управляемыми элементами МКС в ходе навигации и текущего пилотирования;
- выработка оперативных решений (рекомендаций) по разрешению выявляемых опасных пространственных ситуаций с управляемыми элементами МКС.

Г1.6.6. Электронный журнал учета событий и документирования должен обеспечивать фиксацию в вербальном виде всех событий в процессе управления элементами МКС, репрезентацию электронного вида директивных шаблонированных документов в форме программных объектов, наносимых автоматически на электронную карту. Электронный журнал учета событий и документирования должен воплощать в жизнь функционал:

- взаимопреобразование графических и текстовых документов;
- накопление статистических данных по учету событий;
- поддержка справочно-уведомительного режима;
- обеспечение целостности и сохранения накапливаемой информации.

Г1.6.7. Тематические расчетные комплексы для анализа функциональности полезной нагрузки должен быть структурированной совокупностью баз динамически подключаемых программных компонент, позволяющим оперативно рассчитывать соответствующие параметры применения полезной нагрузки элемента МКС из состава группировки. Тематические расчетные комплексы для анализа функциональности полезной нагрузки должны обеспечивать:

- всестороннюю интеграцию в программную среду и вычислительный процесс ПАК управления МКС;

- возможность прямого доступа к интерфейсу и программному коду каждой исполняемой расчётной компоненты;
- модификационное пополнение тематических расчетных комплексов для анализа функциональности полезной нагрузки.

Г1.6.8. Программная среда моделирования полетных заданий должна позволять оперативно (в кратном масштабе времени) проигрывать во времени и геопространстве формируемое полетное задание для объектов авиационной робототехники, перед загрузкой его в РЭА элемента МКС для исполнения. Целью такого проигрыша является предметно-обусловленное моделирование с целью выявления ошибок, установления критически важных этапов пространственной траектории полета, предупреждения опасных геопространственных ситуаций.

Г1.6.9. Структурированная база данных справочной информации должна полностью реализовывать поддержку операторов ПК управления МКС дополнительной информацией уточняющего характера. Она должна:

- обладать распределенной структурой и достаточным резервированием;
- обеспечивать возможность периодической актуализации;
- предоставлять справочные данные в реальном масштабе времени.

Основные программные технологии обработки информации в ПАК управления МКС следует применять для конкретизации частных программно-информационных технологий и решений.

Г1.7. Группа требований к реализации аппаратной платформы ПАК управления МКС

Г1.7.1. Состав средств, комплектация и структура аппаратной платформы ПАК управления МКС должны быть параметрически заданы в ТЗ (ТУ) и проработаны в техническом проекте ПАК управления МКС. В общем случае проект аппаратной платформы ПАК управления МКС должен в себя включать:

Г1.7.1.1. Уточненные, конкретизированные спецификации комплектующих, с учетом их микро- радиоэлектронной и/или радиотехнической базы;

- Г1.7.1.2. Структуру монтажа основных составных частей и/или компонент аппаратной платформы ПАК управления МКС в виде комплекта монтажных, электромонтажных чертежей и схем проводной разводки;
- Г1.7.1.3. Анализ надежности предлагаемой структуры аппаратной платформы ПАК управления МКС;
- Г1.7.1.4. Анализ применимости и долговечности предлагаемых в состав аппаратной платформы ПАК управления МКС компонент;
- Г1.7.1.5. Сравнительный анализ возможных затрат на обслуживание и текущий ремонт.
- Г1.7.2. В рамках разработки технического проекта ПАК управления МКС должна быть проведена оценка эффективности предлагаемого решения по созданию (формированию) аппаратной платформы ПАК управления МКС. Она должна показать в сравнительном анализе слабые и сильные стороны предлагаемого технического решения по разработке текущей версии аппаратной платформы ПАК управления МКС.
- Г1.7.3. Конкретизированное решение по созданию (формированию) аппаратной платформы ПАК управления МКС должно быть адаптировано к условиям размещения, к соответствующим условиям обеспечения мобильности ПАК (Должны быть учтены тип и вид мобильного носителя, шасси, вибро-клемматические условия и пр.)
- Г1.7.4. Конкретизированные и уточненные параметры аппаратной платформы ПАК управления МКС должны позволять полноценно функционировать общесистемному и прикладному программному обеспечению в полном объеме их функциональности.
- Г1.8. Группа требований к сетцентрической организации обработки информации и единой структуре данных
- Г1.8.1. ПАК управления МКС должен поддерживать сетцентрическую организацию обработки информации в единой структуре данных системы управления разнородной роботизированной группировкой.

Г1.8.2. Единая структура данных, формируемая для поддержания сетицентрического характера системы управления разнородной роботизированной авиационной группировкой на базе ПАК управления МКС, должна удовлетворять следующим требованиям:

Г1.8.2.1. Сетицентрический принцип организации системы управления разнородной роботизированной авиационной группировкой является доминирующим при задании единой структуры данных для ПАК управления МКС;

Г1.8.2.2. Единая структура данных не должна быть избыточной; она должна обеспечить не избыточность цифровых данных управления.

Г1.8.2.3. Единая структура данных должна предусматривать адаптивность к появлению данных новых сложных типов.

Г1.8.2.4. Единая структура данных должна учитывать полную номенклатуру классов и видов элементов МКС, других образцов автономной робототехники. Которые ПАК управления МКС может брать под управление в составе соответствующих разнородных группировок.

Г1.8.2.5. Должна быть предусмотрена возможность резервного копирования, зеркального реплицирования и частичного восстановления поврежденных данных в ПАК управления МКС.

Г1.8.2.6. Единая структура данных, в целом, должна быть разработана с ориентацией на весь жизненный цикл ПАК.

Г1.8.2.7. В единой структуре данных ПАК управления МКС должна учитываться гетерогенность и пространственный разнос источников текущей геопространственной информации о перемещениях объектов управления.

Г1.8.3. Единая структура данных, формируемая для поддержания сетицентрического характера системы управления разнородной роботизированной авиационной группировкой на базе ПАК управления МКС, должна реализовывать соответствующие информационно-архитектурные и предметные требования:

Г1.8.3.1. Информационно-архитектурные требования:



Г1.8.3.1.1. ПАК управления МКС должен быть встраиваем в внешние информационные системы автоматизации более высокого уровня управления. Единая структура данных должна позволять приводить выходные данные ПАК управления МКС к виду данных, принятых в единой модели данных более вышестоящей системы автоматизации управления.

Г1.8.3.1.2. Единая структура данных должна позволять организовывать информационное взаимодействие с внешними информационными системами общего характера использования на основе эталонной модели взаимодействия открытых информационных систем.

Г1.8.3.1.3. Единая структура данных должна учитывать сетцентрическую организацию управления группировкой МКС и обладать распределенным характером, с иерархическим принципом детализации.

Г1.8.3.2. Предметные требования:

Г1.8.3.2.1. Единая структура данных должна учитывать объектно-ориентированный характер разработки программного обеспечения для ПАК управления МКС (в т.ч. моделей предметной области), а следовательно, учитывать принципы объектно-ориентированного подхода в программировании: инкапсуляция, полиморфизм, наследование.

Г1.8.3.2.2. Единая структура данных должна предусматривать возможность её периодического аудита с целью рационализации структуры.

Г1.8.3.2.3. В силу того, что единая структура данных по своей сути является онтологией предметной области управления МКС, то она должна описываться на специализированном языке разработки онтологий.

Г1.8.3.2.4. Единая структура данных должна предусматривать возможность создания в базе данных ПАК управления МКС сегмента закрытых (режимных) данных с технически ограниченным режимом доступа различных операторов (пользователей).

Г1.8.3.2.5. Разграничение доступа к различным ресурсам распределенной базы данных ПАК управления МКС должен организовываться посредством

специализированной матрицы доступа, а также средств персональной идентификации и удаленного удостоверения.

Г1.8.3.2.6. Предметные требования к сетицентрической организации обработки информации и к единой структуре данных подлежат обязательному уточнению при конкретизации конфигурации ПАК управления МКС.

Г2. Подмножество требований к разработке ПК управления МКС

Г2.1. Группа требований к программной архитектуре ПК управления МКС

Г2.1.1. Архитектура комплекса прикладного программного обеспечения или программного комплекса (ПК) управления МКС должна разрабатываться по технологическим направлениям предусмотренным ГОСТ АСУ (34 серии), а именно путем раскрытия групп требований к:

- математическому обеспечению;
- информационному обеспечению;
- программному обеспечению;
- техническому обеспечению вычислительного процесса;
- информационной безопасности;
- телекоммуникационному взаимодействию.

При этом в ТЗ (ТУ) должна быть описана и детализирована методика организации разработки и совершенствования ППО для ПАК управления МКС.

Г2.1.2. Требования к методике организации разработки и совершенствования ПК управления МКС, а также отдельных его компонент ППО.

Г2.1.2.1. В качестве требований к методике разработки и совершенствования ПК управления МКС предъявляются:

Г2.1.2.1.1. Методика организации разработки и совершенствования ПК управления МКС оформляется в качестве отдельного документа, в статусе приложения к ТЗ (ТУ).

Г2.1.2.1.2. Методика организации разработки и совершенствования ПК управления МКС должна задавать технологическую систему разработки ППО,

должностные роли в рамках такой технологической системы, модель взаимодействия должностных лиц и общий алгоритм проведения работ.

Г2.1.2.1.3. Методика организации разработки и совершенствования ПК управления МКС должна соответствовать методологии гибкой разработки программного обеспечения.

Г2.1.2.1.4. Методика организации разработки и совершенствования ПК управления МКС должна быть оснащена соответствующими программными средами разработки, средствами повторного использования и верификации программного кода, соответствующими языками программирования, системами отладки и тестирования программ.

Г2.1.2.1.5. Организационные документы, согласно методике организации разработки и совершенствования ПК управления МКС, должны соответствовать ГОСТ 34-й серии и ГОСТ ЕСПД.

Г2.1.2.2. Методика организации разработки и совершенствования ПК управления МКС также должна:

Г2.1.2.2.1. Учитывать все особенности технологической схемы разработки ПК управления МКС;

Г2.1.2.2.2. Реализовывать принципы рациональной организации труда программистов-разработчиков, программистов-кодировщиков, отладчиков и тестировщиков;

Г2.1.2.2.3. Ориентироваться на высокий уровень технологизации в программировании за счет широкого использования динамически подключаемых библиотек программных компонент повторно используемого кода;

Г2.1.2.2.4. Методика организации разработки и совершенствования ПК управления МКС должна сопровождаться наглядным графическим материалом, оформляемым в единой нотации представления. Смешение нотаций не допускается.

Г2.1.2.3. Организация разработки и совершенствования ПК управления МКС должна быть ориентирована на сжатые сроки разработки, в условиях очной и командной работы с высокой итеративностью циклов разработки.

Г2.1.2.4. Конкретизированные организационные документы методики должны регулировать:

Г2.1.2.4.1. Порядок идентификации и учета всех разработанных и утвержденных к включению в итоговый программный продукт программных компонент исполняемого/исходного кода. Такой порядок должен предусматривать:

- идентификацию и учет каждого разработанного программного компонента;
- учет принадлежности каждого из уникальных компонент ППО к определенной версии ПК управления МКС;
- учет потребных ресурсов вычислительной системы не только для хранения исполняемого и исходного кода итоговых программных компонент, но и для их полноценной инициации и исполнения.

Г2.1.2.4.2. Порядок вербального описания функциональности каждого из разработанных и утвержденных к включению в итоговый программный продукт программных компонент исполняемого/исходного кода. Такой порядок должен предусматривать:

- назначение форматов вербального описания функциональности каждого из программных компонент;
- состав вопросов, которые должны быть раскрыты в описании в обязательном порядке;
- права по копированию и распространению данных из указанных описаний функциональности;
- требования к степени детализации данных в указанных описаниях.

Г2.1.2.4.3. Порядок работы с закрытой информацией или информацией ограниченного распространения (если такая информация в указанных описаниях есть).

Г2.2. Группа требований к видам обеспечения ПК управления МКС

Г2.2.1. Подгруппа требований по математическому обеспечению ПК управления МКС

Г2.2.1.1. Математическое обеспечение ПК управления МКС должно быть представлено как совокупность математических, логико-математических моделей и методик (алгоритмов) количественного и логико-количественного обоснования решений на управление элементами МКС в составе разнородных авиационных группировок.

Г2.2.1.2. Математическое обеспечение ПК управления МКС должно быть разработано так, чтобы оно могло быть эффективно реализовано в соответствующих компонентах прикладного программного обеспечения.

Г2.2.1.3. Математическое обеспечение должно быть полным в описании функционала системы управления разнородными роботизированными авиационными группировками. В частности, оно должно предусматривать:

- учет полного перечня всех прикладных функций управления;
- специфику предназначаемого уровня управления и специфику взаимодействия с вышестоящими уровнями;
- охват всей гаммы технологических этапов формирования разнородной группировки с участием элементов МКС (постановка цели и задач на операцию с использованием робототехники, проведение технического сопряжения и информационного согласования объектов управления (средств робототехники) с ПАК управления группировкой, развертывание на местности сил группировки с организацией сети центрικής системы управления ими, непосредственное решение задач операции и достижение целей, сворачивание группировки и приведение БАК, ПАК управления МКС в исходное состояние);
- учет особенностей работы операторов ПАК управления МКС, их психомоторную и физиологическую нагрузку в процессе управления элементами МКС.

Г2.2.1.4. Конкретизированные элементы математического обеспечения, воплощенные в ППО ПАК управления МКС, должны отвечать принципам сетицентрики в организации пространственно распределенной системы

управления элементами разнородной роботизированной авиационной группировки, а именно:

- позволять релевантно моделировать развитие основных процессов применения полезной нагрузки элементов МКС и других объектов робототехники, пилотируемой авиации из состава разнородной группировки;
- обеспечивать достаточный уровень точности и устойчивости в модельном представлении всех процессов бортовой мехатроники элементов МКС и других объектов робототехники;
- поддерживать эффективную интеграцию и качественное слияние служебных и предметно-контентных данных от гетерогенных источников информации;
- поддерживать заданный темп вычислительного процесса в сетицентрической сети, т.е. заданный уровень быстродействия всей системы управления силами и средствами разнородной группировки.

Г2.2.1.5. Математическое обеспечение ПК управления МКС должно иметь такие состав и структуру, которые поддерживают возможности включения указанного комплекса в состав вышестоящей надсистемы управления более высокого уровня, как соответствующей инкапсулированной подсистемы.

Г2.2.1.6. Состав математических методик, процедур, компонент должен быть стратифицирован применительно к уровням декомпозиции процессов управления от контроллер-исполнительных до глобальных.

Г2.2.1.7. Идентификация математических методик или процедур должна состоять из определения/назначения:

- уникального идентификатора математической процедуры (методики);
- краткое описание объектности и субъектности в процедурах управления или контент наполнения в информационных методиках;
- спецификацию локальных и глобальных переменных;
- описание интерфейсов входа/выхода в/из расчетной схемы процедуры;
- тенденции основных математических зависимостей в графическом или табулированном виде.

Г2.2.2. Подгруппа требований по информационному обеспечению ПК управления МКС

Г2.2.2.1. Информационное обеспечение ПК управления МКС есть совокупность всех массивов служебной и оперативной цифровой информации, включая все электронные картографические и пространственные наборы данных, дополнительных и справочных массивов данных хранящихся и преобразуемых в составе распределенной базы данных указанного комплекса. Информационное обеспечение ПК управления МКС должно позволить операторам оперативно формировать в программной среде системы управления группировкой релевантную, адекватную информационную модель текущей обстановки в географической зоне применения разнородной робототехнической авиационной группировки.

Г2.2.2.2. Информационное обеспечение ПК управления МКС должно дать возможность использовать различные цифровые картографические наборы данных для полноценного синтеза на их основе динамических информационных моделей предметной области применения группировки. Составными частями таких информационных моделей должны быть динамические субмодели управляемых сил и средств роботизированной разнородной авиационной группировки.

Г2.2.2.3. Динамическая субмодель управляемых сил и средств из состава роботизированной разнородной авиационной группировки должна быть массивом служебных и предметных данных об конкретном объекте управления ПК управления МКС и его логико-системных, информационных, телекоммуникационных и пр. связях с объектами окружающего мира.

Г2.2.2.4. Требования к динамическим субмоделям управляемых сил и средств роботизированной разнородной авиационной группировки:

Г2.2.2.4.1. Все динамические субмодели управляемых сил и средств роботизированной разнородной авиационной группировки должны соответствовать единой (принятой за основную в рамках ПАК управления МКС) модели представления данных и репрезентации формализованных

знаний, соответствующим структурам данных в общей распределенной базе данных комплекса (онтологии).

Г2.2.2.4.2. Каждая динамическая субмодель объекта из состава управляемых сил и средств роботизированной разнородной авиационной группировки должна учитывать все технологические этапы его применения, этапы жизненного цикла, возможности его модернизации и совершенствования.

Г2.2.2.5. Требования к достигаемому уровню единства представления данных и репрезентации формализованных знаний в интегрированной базе данных ПК управления МКС:

Г2.2.2.5.1. Изначальный уровень единства представления данных и репрезентации формализованных знаний в интегрированной базе данных и знаний ПК управления МКС должен быть задан в ТЗ(ТУ) на разработку/производство соответствующего ПАК;

Г2.2.2.5.2. Текущий уровень единства представления данных и репрезентации формализованных знаний в интегрированной базе данных ПК управления МКС должен достигаться путем обеспечения наследования свойств базовых классов в иерархии объектно-ориентированных классов при формировании соответствующих структур данных в онтологии ПК;

Г2.2.2.5.3. Ориентация на принцип единства представления данных и репрезентации формализованных знаний в интегрированной базе данных ПК управления МКС должна позволять реализовывать динамические информационные модели любого уровня вложенности и сложности, соответствующего требованиям сложности программного обеспечения;

Г2.2.2.5.4. Единство представления данных и репрезентации формализованных знаний в интегрированной базе данных ПК управления МКС при получении данных из внешних взаимодействующих информационных систем должно достигаться путем соответствующего преобразования форматов данных. Не допускается инкапсулирование на постоянной основе в состав базы



данных массивов информации от внешних информационных систем в их исходных форматах представления.

Г2.2.2.6. Требования к достигаемому уровню единства информационного взаимодействия в распределенной базе данных ПК управления МКС и с внешними источниками гетерогенной информации:

Г2.2.2.6.1. Изначальный уровень единства информационного взаимодействия в распределенной базе данных ПК управления МКС и с внешними источниками гетерогенной информации должен быть задан в ТЗ(ТУ) на разработку/производство соответствующего ПАК;

Г2.2.2.6.2. Текущий уровень единства информационного взаимодействия в распределенной базе данных ПК управления МКС и с внешними источниками гетерогенной информации должен позволять коммуницирование со всеми составными частями распределенной базы данных комплекса и соответствующими внешними системами;

Г2.2.2.6.3. Для поддержания заданного уровня единства информационного взаимодействия в распределенной базе данных ПК управления МКС и с внешними источниками гетерогенной информации количество обособленных составных частей БД ПК не должно быть большим, а система внешних связей ПК максимально простой в текущих условиях развертывания.

Г2.2.2.7. Динамические субмодели управляемых сил и средств роботизированной разнородной авиационной группировки должны в себя включать:

- идентификатор и структурированную вложенность типовых атрибутов;
- совокупность служебных данных, определяющих отношения с другими динамическими информационными субмоделями;
- численные параметры и наименования характеристик моделируемых объектов сил и средств группировки.

Г2.2.2.8. Организация информационного взаимодействия информационного обеспечения ПК управления МКС с внешними источниками гетерогенных данных должна предусматривать:

- наличие сводной спецификации внешних информационных источников гетерогенных данных;
- наличие детализированных описаний форматов выдаваемой информации по каждому внешнему источнику, а также описаний процедур гармонизации с указанными источниками информации;
- реестр каналов связи с каждым из внешних источников информации и их пропускных способностей.

Г2.2.2.9. Организация информационного обмена между составными частями в распределенной базе данных ПК управления МКС должна предусматривать:

- четко установленную и регламентированную сегментацию распределенной БД в пространстве памяти ПК управления МКС. Облачный принцип выделения ресурсов памяти в ПК управления МКС не допускается;
- назначение (определение) и контроль предельно допустимых значений потоков входной/выходной информации, передаваемой при обмене между составными частями в распределенной базе данных ПК управления МКС;
- всестороннюю защиту целостности данных в процессе обмена между составными частями в распределенной базе данных ПК управления МКС, а также недопущения внесения несанкционированных изменений или возможностей в передаваемый код.

Г2.2.2.10. Резюмирующие требования к построению и накоплению массивов данных информационного обеспечения в ПК управления МКС:

Г2.2.2.10.1. Информационное обеспечение ПК управления МКС должно представлять собой систему взаимоувязанных информационных массивов цифровых данных, имеющих иерархическую структуру логической связности (вложенность более частных аспектов информации в более общие).

Г2.2.2.10.2. Размер массивов цифровых данных в составе информационном обеспечении ПК управления МКС должен быть переменным, он должен

ограничиваться только возможностями суммарного поля памяти аппаратной платформы комплекса.

Г2.2.2.11. Информационное обеспечение ПК управления МКС после его предметного наполнения должно содержать целостную инфологическую модель предметной области управления объектами разнородных роботизированных авиационных группировок, которая определяет соответствующую каноническую структуру базы данных для указанного комплекса .

Г2.2.3. Подгруппа требований по программному исполнению ПК управления МКС

Г2.2.3.1. Требования к программному исполнению ПК управления МКС определяют подходы к технологизации кодирования компонентов указанного программного комплекса, организации логического взаимодействия между компонентами его программной архитектуры. Программное исполнение ПК управления МКС должно, в целом, соответствовать:

Г2.2.3.1.1. Исходный код всех программных компонент должен соответствовать профессиональному технологическому стилю написания, т.е. должна быть соблюдена и показана вложенность соответствующих процедур и функций, выделены локальные и глобальные переменные и пр. Код должен иметь высокий уровень сопровождения техническими комментариями.

Г2.2.3.1.2. Покомпонентная организация исполняемого должна быть обусловлена принятой архитектурой ПК и логикой процессов предметной области управления разнородными роботизированными авиационными группировками.

Г2.2.3.1.3. Идентификация составных частей и компонент исполняемого кода должна быть предметно обусловлена.

Г2.2.3.2. Требования к программному исполнению ПК управления МКС формируются в ТЗ на разработку (ТУ на производство). Данный документ должен включать в себя конкретизированные требования к:

- Г2.2.3.2.1. операционной среде и драйверам устройств компьютерной периферии;
- Г2.2.3.2.2. программному исполнению распределенной базы данных и системе её управления;
- Г2.2.3.2.3. загружаемым программным утилитами и подключаемым библиотекам функций и процедур;
- Г2.2.3.2.4. встраиваемым кроссплатформенным приложениям.
- Г2.2.3.3. Отдельно в ТЗ на разработку (ТУ на производство) ПК управления МКС должны быть сформулированы требования по необходимым и достаточным объемам оперативной, кэш и долговременной памяти. Данные требования должны носить характер конкретных численных характеристик.
- Г2.2.3.4. Также строго регламентируются организационные требования к технологической системе кодирования компонентов ПК управления МКС. Описываются конкретные требования к реализации соответствующих ролей в команде разработчиков: инженеры-программисты, программисты-разработчики, проектировщики, программисты-кодировщики, тестировщики и отладчики.
- Г2.2.3.5. Требования по модифицируемости текущего исполнения программного кода ПК управления МКС должны регламентировать уровень логичности построения и структурирования исходного кода компонент, что в сочетании с комментированием кода должно обеспечить широкие возможности для внешней модернизации и доработки кода.
- Г2.2.3.6. Технологизация ПК управления МКС должна обеспечить контролируемый порядок копирования исполняемого кода по принципу контроля контрольных сумм при копировании.
- Г2.2.3.7. Вся совокупность требований к программному исполнению ПК управления МКС должна быть сведена в единую и систематизированную спецификацию.
- Г2.2.4. Подгруппа требований по техническому обеспечению ПК управления МКС

Г2.2.4.1. Требования по техническому обеспечению ПК управления МКС должны определить конкретные параметры аппаратной платформы, на которой может полноценно функционировать программный комплекс.

Г2.2.4.2. В ТЗ на разработку (ТУ на производство) должны быть определены конкретные наименования и значения показателей надежности составных частей, схем, блоков или узлов аппаратной платформы, на которой может полноценно функционировать ПК управления МКС. Гамма указанных показателей надежности должна учитывать:

Г2.2.4.2.1. Реалистичные условия развертывания на местности, реального применения ПАК управления МКС;

Г2.2.4.2.2. Принятую в сфере вычислительной и телекоммуникационной техники типизацию отказов, сбоев и неисправностей;

Г2.2.4.2.3. Безусловное обеспечение назначаемого времени наработки на отказ со стороны всех составных частей аппаратной платформы;

Г2.2.4.2.4. Фактор более быстрого морального старения технических решений (отдельных блоков, узлов или составных частей) в сравнении с физическим износом, свойственным средствам вычислительной техники;

Г2.2.4.2.5. Факторы возможной модернизации и модифицируемости в рамках жизненного цикла всего ПАК управления МКС.

Г2.2.4.3. Также в ТЗ на разработку (ТУ на производство) должны быть определены конкретные требования по организации эксплуатации и техническому обслуживанию (текущему ремонту) аппаратной платформы. Данная группа требований отличается высоким разнообразием видов требований, обуславливаемых конкретными техническими решениями составных частей аппаратуры, но тем не менее она должна включать следующие подгруппы требований к:

Г2.2.4.3.1. стандартным средствам администрирования, посредством которых обеспечивается управление ресурсами ПК и аппаратной платформы;

- Г2.2.4.3.2. эталонным носителям данных и кода ППО на предприятии разработчике и на объекте эксплуатации, обеспечивающих сохранность унифицированных компонентов ПК УГ БПЛ;
  - Г2.2.4.3.3. составу и характеристикам запасных частей аппаратуры и ремонтных комплектов;
  - Г2.2.4.3.4. обеспечиваемой вероятности безотказной работы и времени наработки на отказ запасных частей аппаратуры и ремонтных комплектов;
  - Г2.2.4.3.5. учету замен в аппаратной платформе при проведении текущих ремонтов;
  - Г2.2.4.3.6. особенностям проведения различных видов технического обслуживания аппаратной платформы;
  - Г2.2.4.3.7. расчету эксплуатирующего персонала при проведении мероприятий технической эксплуатации и обслуживания;
  - Г2.2.4.3.8. составу и требуемым точностным характеристикам придаваемых контрольно-измерительных и поверочных приборов;
  - Г2.2.4.3.9. климатико-температурным условиям применения;
  - Г2.2.4.3.10. правилам хранения и упаковывания для перемещения на большие расстояния различными видами транспорта;
  - Г2.2.4.3.11. списанию и утилизации специфических узлов, схем или агрегатов аппаратной платформы;
  - Г2.2.4.3.12. отчетности по вопросам практического применения и эксплуатации различных составных частей аппаратной платформы.
- Г2.2.4.4. Должны быть определены конкретные требования по электротехнической и эксплуатационной безопасности при проведении мероприятий применения по назначению, техническом обслуживании и текущем ремонте. Данная подгруппа помимо узко специфических требований должна обязательно включать требования к:
- Г2.2.4.4.1. безопасности проведения мероприятий эксплуатации, техническом обслуживании и текущего ремонта на подсистеме электропитания и отдельных её частях;

- Г2.2.4.4.2. безопасности проведения мероприятий эксплуатации, технического обслуживания и текущего ремонта на приборах с электромагнитным излучением, на антенно-фидерных устройствах;
- Г2.2.4.4.3. безопасности работ с массивными элементами аппаратуры, подпружиненными опорами, клинкетными механизмами и замками, запорно-удерживающей арматурой.
- Г2.2.4.5. Должны быть определены конкретные требования по обеспечению унификации в применяемых технических решениях, в том числе:
- Г2.2.4.5.1. Требование обеспечения единства в подходах к проектированию и комплектации типовых технических решений для всех составных частей и версий исполнения аппаратной платформы и ОПО;
- Г2.2.4.5.2. Требование применения единых основ представления и классификации данных, формализованных технических сообщений, стандартизированных программных интерфейсов, общего для всех подсистем языка программирования.
- Г2.2.5. Подгруппа требований по информационной безопасности
- Г2.2.5.1. Требования к целостности массивов данных, используемых ПК управления МКС
- Г2.2.5.1.1. Должна быть разработана спецификация потенциальных угроз целостности массивов данных, используемых ПК управления МКС;
- Г2.2.5.1.2. Должны быть сформированы исчерпывающие перечни мероприятий по обеспечению целостности массивов данных, используемых ПК управления МКС как в процессе разработки, производства, так и в ходе эксплуатации комплекса. Данные перечни должны соответствовать действующей на момент разработки нормативной базе ФСТЭК РФ.
- Г2.2.5.2. Требования к организации защиты информации

Г2.2.5.2.1. Организация защиты информации заключается в проектной разработке пакета рамочных документов по формированию системы защиты информации ПАК управления МКС как объекта информатизации, для чего должны быть предусмотрены:

Г2.2.5.2.1.1. Предварительный анализ и разработка перечня видов информации, которые подлежат различным уровням ограничений распространения;

Г2.2.5.2.1.2. Инкорпорирование в состав ПК управления МКС специализированных программ антивирусной защиты, а также различных закладок не декларированных возможностей программного обеспечения;

Г2.2.5.2.1.3. Внедрение в состав документации ПК управления МКС методики оперативной проверки работоспособности комплекса и целостности информации в распределенной базе данных;

Г2.2.5.2.1.4. Создание типизированного перечня возможных сбоев в функционировании ПК и первичных мероприятий по их устранению.

Г2.2.5.2.1.5. Создание типизированного перечня мероприятий по поддержанию конфиденциального характера разработки ПК и обработки информации в ПАК.

Г2.2.5.2.2. Организация защиты информации должна предусматривать обеспечение лицензионной чистоты всех внешних (заимствованных) компонент ОПО и ППО, а также сертификацию, установленным в РФ порядком, всех вновь разработанных компонент ПК управления МКС на предмет обеспечения требуемого уровня защиты и безопасности информации.

Г2.2.6. Подгруппа требований по обеспечению телекоммуникационного взаимодействия

Г2.2.6.1. Все варианты построения телекоммуникационного взаимодействия должны быть предварительно (в потенциальных возможностях и пропускной



способности) проанализированы и учтены в техническом проекте по следующим показателям:

- виды и типы доступных каналов передачи данных;
- конфигурация сетевой маршрутизации;
- возможные варианты коммутации;
- применимость шифрации/дешифрации;
- степень закрытости каналов.

Г2.2.6.2. Обеспечению телекоммуникационного взаимодействия должно предусматривать технический аспект взаимодействия с внешними информационными системами. Для этого должны быть проанализированы технические возможности организации потоковой обработки цифровой информации, получаемой от внешних систем:

- класс интерфейса для обмена с каждой из планируемых внешних систем (источников/потребителей цифровых данных);
- обеспечиваемая пропускная способность каналов связи с каждой из планируемых внешних систем (источников/потребителей цифровых данных) и быстродействие обработки данных от них;
- репрезентативность данных, получаемых от внешних систем;
- возможности резервирования каналов телекоммуникационного взаимодействия.

Г2.2.6.3. Должны быть проработаны организационные аспекты обеспечению телекоммуникационного взаимодействия с внешними информационными системами. А именно:

- должностные инструкции должностных лиц расчета, ответственных за организацию системы связи ПАК с внешними информационными системами;
- конкретизированная спецификация средств телекоммуникации из состава ПАК специализирующихся именно на взаимодействии с внешними системами;

- вопрос применимости беспроводных технологий коммутации и информационного обмена (Wi-Fi, Bluetooth и пр.) для указанного взаимодействия;
- организация регистрации событий и хода информационного обмена с внешними системами.

### Г3. Подмножество эксплуатационных требований к ПАК управления МКС

#### Г3.1. Группа требований по поддержанию потребительских качеств на всех этапах эксплуатации

Г3.1.1. Для ПАК управления МКС должны быть детально разработаны все аспекты и этапы структуры жизненного цикла. В указанную разработку должны входить:

- перечень основных этапов жизненного цикла;
- критерии завершенности процессов разработки и создания;
- правила ввода в эксплуатацию, с определением затрат на поддержание и сопровождение изделия в эксплуатации;
- критерии необходимости модернизации и/или модификации;
- правила вывода из эксплуатации и утилизации.

Г3.1.2. Мероприятия по поддержанию потребительских качеств ПАК управления МКС на всех этапах их эксплуатации должны быть определены для всех функционально-самостоятельных составных частей (приборов, устройств и т.д.) комплекса, включая общесистемное и прикладное программное обеспечение. К таким мероприятиям, в целом, относятся:

Г3.1.2.1. Выработка общего проектного решения по поддержанию потребительских качеств отдельных (специфических) функционально-самостоятельных составных частей ПАК управления МКС;

Г3.1.2.2. Задание облика модернизируемой/модифицируемой составной части ПАК;

ГЗ.1.2.3. Организация мероприятий практической апробации и опытной эксплуатации отдельных технических решений по модернизируемой/модифицируемой составной части;

ГЗ.1.2.4. Выработка практических рекомендаций по совершенствованию практического применения и текущей эксплуатации специфических функционально-самостоятельных составных частей ПАК управления МКС.

ГЗ.1.2.5. Корректировка мероприятий технического обслуживания и текущего ремонта применительно к новым (модернизируемым/модифицируемым) составным частям ПАК управления МКС.

### ГЗ.2. Группа технико – экономических требований

ГЗ.2.1. При проектировании ПАК управления МКС должна быть произведена технико-экономическая оценка полной стоимости создания опытного образца и производства серийных образцов. Также должна быть произведена технико-экономическая оценка всех планируемых мероприятий в процессе применения по назначению и эксплуатации: всех видов технического обслуживания, плановых ремонтов, планируемых модернизаций.

ГЗ.2.2. Отдельной технико-экономической оценке макетного характера подлежат мероприятия с согласуемым с заказчиком объемом работ: ввод в эксплуатацию, опытная эксплуатация, сдача в эксплуатацию, как объекта обработки информации, обучение эксплуатирующего персонала и т.д.

ГЗ.2.3. Все проектные оценки носят предварительный и ориентировочный характер. Стоимость ПАК управления МКС как изделий, а также мероприятий их эксплуатации юридически и обосновано устанавливаются только по результатам опытной эксплуатации, методом прямого калькулирования фактически произведенных затрат.

ГЗ.2.4. Техничко-экономические требования устанавливаются в соответствии с действующей нормативно-техническими и финансово-регламентирующими оргдокументами, действующими на момент проведения соответствующих обоснований.

ГЗ.3. Группа требований к рабочей конструкторской и эксплуатационной документации

ГЗ.3.1. Рабочая конструкторская, рабочая исполнительская и эксплуатационная документация для ПАК управления МКС должна по своей номенклатуре соответствовать ГОСТ 34 серии, а по оформлению ГОСТ ЕСКД;

ГЗ.3.2. Программная, рабочая программная и эксплуатационная документация для ПК управления МКС (т.е. на ОПО и ППО) должна по своей номенклатуре соответствовать ГОСТ 34 серии, ГОСТ Р 51189-98, а по оформлению ГОСТ ЕСПД;

ГЗ.3.3. Также эксплуатационная документация на ПАК управления МКС должна отвечать на требования ГОСТ 2.601-2013;

ГЗ.3.4. Согласование и утверждение эксплуатационной документации заказчиком на ПАК управления МКС и его ППО должно быть проведено в соответствии с ГОСТ 2.902-68, ГОСТ Р 15.203-2001;

ГЗ.3.5. Корректурa конструкторской, программной и эксплуатационной документации по результатам мероприятий испытаний и/или эксплуатации должен проводиться в порядке предусмотренном ГОСТ Р 15.210-2001, либо другим аналогичным документом отраслевого характера.

## Приложение Д



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

“НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
“РУБИН”

Кантемировская, д. 5, Санкт-Петербург, 194100, тел.: (812) 670-89-89, факс: (812) 596-35-81, e-mail: inforubin@rubin-spb.ru  
ИНН/КПП 7802776390/780201001, ОГРН 1127847043720, ОКПО 07542394

№ 15-НТЦ от 27.08.2019

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора  
по научной работе  
докт. техн. наук, профессор



В.И. Курнос

«27» 08 2019 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационных исследований  
Смирновой Марии Сергеевны

Научно-техническая комиссия в составе: председателя – начальника отделения перспективных разработок Смирнова К.А., членов: главного специалиста Буренина А.Н., главного специалиста Винниченко А.В. составила настоящий акт о том, что в АО «НИИ «Рубин» в рамках системы менеджмента качества предприятия внедрены стандарты организации СТО ЕЯК.013-2018 «СМК. Управление документацией. Присвоение обозначения, комплектность и порядок разработки документации на программные и информационные изделия», СТО ЕЯК.014-2018 «СМК. Мониторинг и измерение продукции. Испытания и приемка серийных программных и информационных изделий», которые реализуют следующие результаты научной работы доцента кафедры Инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», кандидата технических наук, доцента Смирновой Марии Сергеевны:

1. Концепция контроля процессов создания и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами;
2. Методологический базис квалиметрических требований к программно-аппаратным комплексам управления мультикомпонентными системами;
3. Метод рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами;
4. Комплекс моделей системы менеджмента качества организации и негативных несоответствий по показателям качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами.

Внедрение указанных стандартов организации позволило добиться сокращения осредненного времени разработки типовой компоненты из состава программных комплексов управления мультикомпонентными мультисервисными

системами связи на 10-15%, сократить среднее время кодирования, отладки и системной стыковки комплексов специального программного обеспечения для управления мультikomпонентными мультисервисными системами связи на 15-20%.

Председатель комиссии:

кандидат технических наук

  
\_\_\_\_\_ К.А. Смирнов

Члены комиссии:

доктор технических наук, доцент

  
\_\_\_\_\_ А.Н. Буренин

кандидат военных наук, старш. научн. сотрудник

  
\_\_\_\_\_ А.В. Винниченко



**Акционерное общество  
«ОКЕНИТ»**

196084, Санкт-Петербург, Лиговский пр-т.,  
д.254, литер. В  
т /ф (812) 384-45-67  
E-mail: info@okenit.ru  
http://www.okenit.ru  
ОГРН 1157847290985

ИНН/КПП 7811227439/781001001

Исх. № 145 от 23.09.2019 г.  
На исх. № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор АО «ОКЕНИТ»

Бурак П.А.



2019г.

**АКТ**

внедрения результатов научной работы  
доцента кафедры Инноватики и интегрированных систем качества  
Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, кандидата технических наук, доцента  
Смирновой Марии Сергеевны

Комиссия в составе:

Председатель - Руководитель группы отдела №1 (разработки и проектирования) Васькина Наталия Анатольевна,

Члены:

- Инженер-конструктор 1 категории Петрова Ольга Николаевна,
- Инженер-конструктор 1 категории Жукова Ангелина Андреевна,

составили настоящий акт в том, что в Акционерном Обществе «ОКЕНИТ» в рамках системы менеджмента качества предприятия внедрены стандарты организации СТО-ПАНЕ.057.1-2019 «Управление качеством специализированных программных комплексов», СТО-ПАНЕ.061.0-2019 «Процесс оценки и улучшения качества программных комплексов прикладного назначения», которые реализуют следующие результаты научной работы доцента кафедры Инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кандидата технических наук, доцента Смирновой Марии Сергеевны:

1. Концепция контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления разнородными роботизированными авиационными группировками;

2. Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами;
3. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент программно-аппаратных комплексов управления роботизированными системами.

Внедрение указанных стандартов организации позволило добиться сокращения среднего времени проектирования и разработки типовой компоненты прикладного программного обеспечения для программно-аппаратных комплексов управления разнородными роботизированными группировками 5-10%, повысить уровень верификации программного кода указанных комплексов на 10-15% при соответствующих затратах времени на тестирование и отладку.

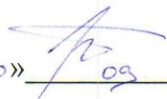
Руководитель группы отдела №1  
(разработки и проектирования)



Васькина Н.А.

«20» IX 2019 г.

Инженер-конструктор 1 категории      Инженер-конструктор 1 категории



Петрова О.Н.

«20» 09 2019 г.



Жукова А.А.

«20» сентябрь 2019 г.





**ЛЕНИНЕЦ**  
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ

Россия, 196066, С.-Петербург, Московский пр., 212  
Тел.: (812) 378-32-19 Факс: (812) 373-22-13  
(812) 379-90-41  
Эл. почта: leninetz-holding@mail.ru

22.10.2019г. № 400-40-565

**LENINETZ**  
HOLDING COMPANY

212 Moskovskiy pr., St.-Petersburg, 196066, Russia  
Phone: (812) 378-32-19 Fax: (812) 373-22-13  
(812) 379-90-41  
E-mail: leninetz-holding@mail.ru

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Президент, Генеральный конструктор  
А.А. Турчак

**АКТ внедрения**

результатов диссертационной работы доцента кафедры инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кандидата технических наук, доцента Смирновой Марии Сергеевны

Комиссия в составе:

Председатель -  
Начальник НИО, доктор технических наук, доцент Поляков В.Б.,

Члены:

- Начальник отдела, кандидат технических наук Сенцов А.А.;
- Главный специалист, кандидат технических наук Иванов С.А.

составила настоящий акт в том, что в Открытом Акционерном Обществе «Центральное научно-производственное объединение «Ленинец» в рамках системы менеджмента качества предприятия внедрены стандарты организации СТО-ПАНЕ.057.1-2019 «Обеспечение качества программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов», СТО-ПАНЕ.061.0-2019 «Процесс оценки и улучшения качества программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов», которые реализуют следующие результаты диссертационной работы доцента кафедры Инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кандидата технических наук, доцента Смирновой Марии Сергеевны:

1. Концепция контроля процессов создания и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами;
2. Методологический базис квалиметрических требований к программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами;
3. Метод рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами;
4. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами.

Внедрение указанных стандартов организации позволило добиться сокращения среднего времени разработки типовой компоненты программных комплексов управления мультикомпонентными системами на 10-15%, сократить среднее время кодирования и отладки комплексов прикладного программного обеспечения для управления мультикомпонентных систем на 15-20%.

Председатель комиссии,  
Начальник НИО,  
доктор технических наук,  
доцент

В.Б. Поляков

Члены комиссии:  
Начальник отдела,  
кандидат технических наук

А.А. Сенцов

Главный специалист,  
кандидат технических наук

С.А. Иванов



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»  
 (ГУАП)

Санкт-Петербург

№ \_\_\_\_\_

Утверждаю  
 Ректор ГУАП  
 Ю.А. Антохина



«22» 09 2020 г.

**АКТ О ВНЕДРЕНИИ**  
 результатов диссертационной работы  
 Смирновой Марии Сергеевны  
**«Методы и средства улучшения качества программно-аппаратных комплексов**  
**управления мультикомпонентными системами»,**  
 представленной на соискание ученой степени  
 доктора технических наук по специальности  
 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

Комиссия в составе:

Председатель – заместитель директора института ФПТИ А.Ю. Гулевитский

Члены комиссии:

Ученый секретарь института ФПТИ В.О. Смирнова

профессор кафедры инноватики и интегрированных систем качества В.А. Грановский

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Методы и средства улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук:

- метод рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами;
- метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами;
- комплекс моделей системы менеджмента качества организации и негативных несоответствий по показателям качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами;

использованы в деятельности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Материалы диссертационной работы Смирновой Марии Сергеевны были использованы в учебном процессе в дисциплинах «Компьютерные технологии управления качеством», «Организационно-управленческие концепции обеспечения качества», «Управление качеством инновационных проектов», читаемых на кафедре №5 Инноватики и интегрированных систем качества для обучающихся по направлениям подготовки «Стандартизация и метрология», «Управление качеством» и «Инноватика».

Председатель комиссии

Заместитель директора института ФПТИ

канд. техн. наук, доцент

А.Ю. Гулевитский

Члены комиссии:

Ученый секретарь института ФПТИ

канд. техн. наук

В.О. Смирнова

профессор кафедры

инноватики и интегрированных систем качества

докт. техн. наук, профессор

В.А. Грановский

	<b>Общество с ограниченной ответственностью "ОМЗ-Информационные технологии"</b>	
	Ижорский завод д.б/н, Санкт-Петербург, Колпино, 196651 тел.: (812)322-81-88, факс: (812)461-79-74	
	omz-it-spb@omzglobal.com	www.omz.ru
	ОКПО 72892381 / ОГРН 1046604788526	ИНН 6673110544 / КПП 781701001

06 октября 2020 года

г. Колпино, Санкт-Петербург

**АКТ****о внедрении научных результатов,**

полученных доцентом кафедры Инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), кандидатом технических наук, доцентом Смирновой Марией Сергеевной

Комиссия в составе:

Председатель           Исполнительный директор  
                                  Ёлкин Евгений Анатольевич

Члены комиссии:       Начальник отдела ПКРМ  
                                  Корякин Алексей Леонидович;  
                                  Ведущий специалист по ИТ и охране труда  
                                  Карамышева Виктория Александровна

установила, что результаты диссертационной работы Смирновой М.С. «Методы и средства улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами», представленной к защите по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции:

1. Концепция контроля процессов создания и улучшения качества программно-аппаратных комплексов (ПАК) управления мультикомпонентными системами (МКС);
2. Метод управления экономичностью проекта разработки программных комплексов управления МКС;

3. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС.

внедрены в ООО «ОМЗ-ИТ» и используются для улучшения качества разрабатываемых программных комплексов, что позволило добиться сокращения затрат на разработку специализированных компонент кода для соответствующих программных комплексов на 3 - 8%, сократить время комплексной стыковки и отладки указанных компонент на 15-20% при едином заданном уровне безошибочности функционирования.

Акт составлен для предоставления в диссертационный совет.

Председатель



Ёлкин Е. А., MBA

Члены комиссии:

Корякин А. Л.

Карамышева В.А.



ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
КОНЦЕРН

**ОКЕАНПРИБОР**

(АО «КОНЦЕРН «ОКЕАНПРИБОР»)

Чкаловский пр., 46, Санкт-Петербург, 197376

Тел. (812)320 80-40/41

Факс (812)320-80-52

mail@oseanpribor.ru

ОКПО 07504258, ОГРН 1067847424160,

ИНН/КПП 7813341546/781301001

19.01.21 № 580/1/46

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора  
–руководитель приоритетного техно-  
логического направления (Научный  
руководитель Концерна)

доктор технических наук, доцент  
Селезнев И.А.



2021 г.

**АКТ**

**использования результатов научной работы**

доцента кафедры Инноватики и интегрированных систем качества  
Федерального государственного автономного образовательного учреждения выс-  
шего образования Санкт-Петербургский государственный университет аэрокос-  
мического приборостроения, кандидата технических наук, доцента Смирновой  
Марии Сергеевны

Комиссия в составе:

Председатель – Начальник отдела научно-технической информации, кандидат  
технических наук Попов Владимир Александрович;

Члены:

- главный ученый секретарь , доктор технических наук Консон Александр  
Давидович;
- начальник отдела ВЭДМ, кандидат технических наук Мартышкин Павел  
Геннадьевич,

составили настоящий акт в том, что в Акционерном Обществе «Концерн «ОКЕ-  
АНПРИБОР» в рамках системы менеджмента качества при разработке и внедре-  
нии стандарта предприятия СТО 9.1.1.02-2019 «ПРОЦЕСС НАСТРОЙКИ И ПО-  
ВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИДРОАКУ-  
СТИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ ВМФ НА ЭТАПАХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОД-  
СТВА ИЗДЕЛИЙ», были использованы результаты научной работы доцента ка-  
федры Инноватики и интегрированных систем качества Федерального государ-  
ственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборо-  
строения», кандидата технических наук, доцента Смирновой Марии Сергеевны:

1. Концепция контроля процессов создания и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами;
2. Методологический базис квалиметрических требований к программно-аппаратным комплексам (ПАК) управления мультикомпонентными системами (МКС);
3. Метод рекурсивной оценки качества программных комплексов (ПК) управления МКС;
4. Комплекс моделей системы менеджмента качества организации и негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС;
5. Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС;
6. Метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС;
7. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС.

Внедрение указанного стандарта предприятия позволило добиться сокращения временных затрат при проведении испытаний ряда образцов перспективной военной техники на 5-10%, повысить уровень обоснованности принимаемых инженерно-технических решений при создании специального программного обеспечения.

Председатель комиссии:  
Начальник отдела НТИ  
кандидат технических наук



Попов В.А.

«19» 01 2021г.

Главный ученый секретарь,  
доктор технических наук



Консон А.Д.

«19» 01 2021г.

Начальник отдела ВЭД и М



Мартышкин П.Г.

«19» сентября 2021 г.





**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель генерального директора  
по научной работе доктор технических наук,  
доцент

Кулешов И.А.

« 01 » февраля 2021 г.

**АКТ**

внедрения результатов научной работы доцента кафедры Инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», кандидата технических наук, доцента Смирновой Марии Сергеевны

Комиссия в составе: председателя – заместителя генерального директора по производству кандидата технических наук Михайлюка Павла Петровича и членов – ученого секретаря ПАО «Интелтех» доктора технических наук профессора Будко Павла Александровича, начальника научно-исследовательского отдела надежности кандидата технических наук доцента Баринова Михаила Анатольевича составила настоящий акт в том, что в Публичном акционерном обществе «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех») в рамках системы менеджмента качества предприятия внедрены стандарты организации СТО ВМИР 5.4–01–2020 Система менеджмента качества. Программа обеспечения качества на стадии постановки изделий на производство. Порядок разработки и управления, СТО ВМИР 6.3–02–2020 Система менеджмента качества. Порядок управления стендом для проверки работоспособности программно-технических комплексов и их составных частей, СТО ВМИР 7.3–06–2020 Система менеджмента качества. Программная документация. Порядок разработки и управления, которые реализуют следующие результаты научной работы доцента кафедры Инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», кандидата технических наук, доцента Смирновой Марии Сергеевны:

1. Комплекс моделей системы менеджмента качества организации и негативных несоответствий по показателям качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами;

2. Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами;

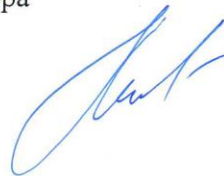
3. Метод управления экономичностью проекта разработки программных комплексов управления мультикомпонентными системами;

4. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами.

Внедрение указанных стандартов организации позволило добиться сокращения среднего времени проектирования и разработки типовой компоненты прикладного программного обеспечения для программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами на 5-10%, повысить уровень верификации программного кода указанных комплексов на 10-15% при соответствующих затратах времени на тестирование и отладку.

Председатель комиссии:

Заместитель генерального директора  
по производству  
кандидат технических наук



П.П. Михайлюк

Члены комиссии:

Ученый секретарь ПАО «Интелтех»  
доктор технических наук, профессор



П.А. Будко

Начальник научно-исследовательского  
отдела надежности  
кандидат технических наук, доцент

М.А. Баринов

«01» февраля 2021 г.