



СМИРНОВА МАРИЯ СЕРГЕЕВНА

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

Специальность:

05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

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

Санкт-Петербург - 2021

- Работа выполнена:** В Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП)
- Научный консультант:** **Семенова Елена Георгиевна**
доктор технических наук, профессор,
Лауреат Премии Правительства Российской Федерации,
Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
- Официальные оппоненты:** **Кравец Олег Яковлевич**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
«Автоматизированные и вычислительные системы»
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет» (ВГТУ);
- Черненькая Людмила Васильевна**
доктор технических наук, старший научный сотрудник,
профессор Высшей школы киберфизических систем и
управления ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»;
- Петухов Сергей Геннадьевич**
доктор технических наук, начальник отдела разработки
программно-математического обеспечения-2
ПАО «Туполев»
- Ведущая организация:** АО «Научно-производственное предприятие
«Радар ммс», 197372, Санкт-Петербург,
Новосельковская, 37, лит. А

Защита состоится «15» июня 2021 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.233.04 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А. Автореферат и текст диссертации размещены на сайте университета <http://dissov.guap.ru>.

Автореферат разослан «05» апреля 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.233.04
доктор технических наук, доцент



Е.А. Фролова

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение требований к качеству современных программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами обусловило необходимость повысить результативность риск-ориентированных процессов технологической основы гибкой разработки программного обеспечения.

Федеральный проект «Цифровые технологии» в рамках национального проекта «Цифровая экономика» ставит целью создание 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, что выводит на приоритетный уровень задачу повышения результативности процессов разработки отечественного программного обеспечения. 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 требование повышения результативности процессов контроля и улучшения качества внедрения и практической реализации информационных технологий в различных отраслях производства.

Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года 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), что обосновывает необходимость ужесточения требований к процессам обеспечения и контроля качества разработки указанных систем.

Обеспечение высокой эффективности и безопасности совместного применения современных распределенных роботизированных комплексов являются целью создания перспективных комплексов управления мультикомпонентными системами (МКС) - системами взаимосвязанных по задачам функционирования роботов. Такие комплексы обладают беспрецедентным уровнем программно-технологической сложности используемого прикладного программного обеспечения (ППО). Именно функционал программных комплексов (ПК) определяет прикладные возможности перспективных программно-аппаратных комплексов (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 причин 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 квалитметрии, что объективно блокирует его применимость в рамках методологии гибкой разработки программного обеспечения.

Процессы обеспечения и контроля качества разработки и сопровождения программного обеспечения требуют унификации и стандартизации для обеспечения результативности их применения, что реализуется на предприятиях путем разработки документированных процедур в рамках системы менеджмента качества (СМК). Применение 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 состояния качества и повышения результативности технологической системы создания ПК для ПАК управления МКС, определяют результаты научных работ ведущих отечественных и зарубежных ученых в области проблем квалиметрии программного обеспечения, современной информатики и алгоритмики, теории управления.

Методологической базой для подетальной проработки темы явились научные результаты научных исследований в области теоретической квалиметрии, базирующейся на исследованиях существующих практик системного улучшения качества продукции, описанной и развитой 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.А. Липатникова, В.Н. Клячкина, Н.Н. Рожкова, Г.И. Коршунова, А.П. Ястребова, Э. Деминга, А.У. Шухарта, К. Исикавы, Д. Джурана, Д. Коудена и др. Результаты данного научного направления выступили в роли базиса для определения архитектуры предлагаемой системы моделей, 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, необходимостью улучшения качества ПАК управления МКС.

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 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 выявления несоответствий процессов разработки и производства 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 реализации и 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 стандартизации и менеджмента (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование) качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции»; 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 на базе стандартизации».

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 содержит принцип полноценного применения методологии гибкой разработки прикладного программного обеспечения для указанных комплексов, что позволяет развить методический аппарат совершенствования технологической системы создания комплексов управления МКС.

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

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 в отличие от известных позволяет исследовать зависимость показателей процессов от значений внутренних и внешних параметров, что 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 теории процессного подхода в обосновании проектных решений по созданию высокотехнологичных робототехнических комплексов.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов состоит в:

- повышении результативности при внедрении в промышленности 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 при внедрении цифровых технологий в рамках методологии гибкой разработки программного обеспечения, в методологическом определении путей улучшения качества этих комплексов;
- упрощении на практике предприятий 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 наименований, 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.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приведено краткое обоснование актуальности темы диссертационного исследования, введено понятие «мультикомпонентная система» в разрезе темы диссертации, определены формулировки цели, научной проблемы, основных задач, объекта и предмета исследования, а также научной новизны, теоретической и практической значимости диссертационной работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту (научные результаты), приведены сведения об апробации и внедрении указанных результатов, а также описаны методы, примененные в ниже описанном исследовании.

Первая глава - «Анализ современных методов и средств квалиметрии комплексов управления мультикомпонентными системами. Постановка задач исследования» - посвящена анализу предметной области управления качеством ПАК управления МКС в аспекте проблемы повышения результативности процессов технологической системы гибкой разработки SCRUM программного обеспечения для указанных комплексов.

Проанализировано современное состояние предметной области качества комплексов управления мультикомпонентными системами, определены основные подходы к управлению их качеством. Установлено, что целенаправленное осуществление управления МКС на современном уровне уже невозможно без применения специальных программно-аппаратных комплексов управления. Комплексы управления МКС представляют собой высокотехнологичные программно-аппаратные изделия с многоуровневыми функциональной архитектурой и схемой вложенности составных частей (рис. 1).

Фактор влияния радиоэлектронной и радиотехнической базы на качество ПАК управления МКС определяет «горизонт» возможностей их применения. При этом указанные ПАК обладают беспрецедентным уровнем программно-технологической сложности. Именно результативность процессов разработки и производства их прикладного программного обеспечения (ППО) определяет уровень целевой эффективности и безопасности совместного применения роботов из состава МКС. 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 средствами 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 осложняет 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, комплексированный в рамках конкретных реализаций ПК управления МКС, является трудносовместимым и неустойчивым. Именно это является главной угрозой для достижения высокого качества указанных программных комплексов, разрабатываемых для ПАК управления МКС.

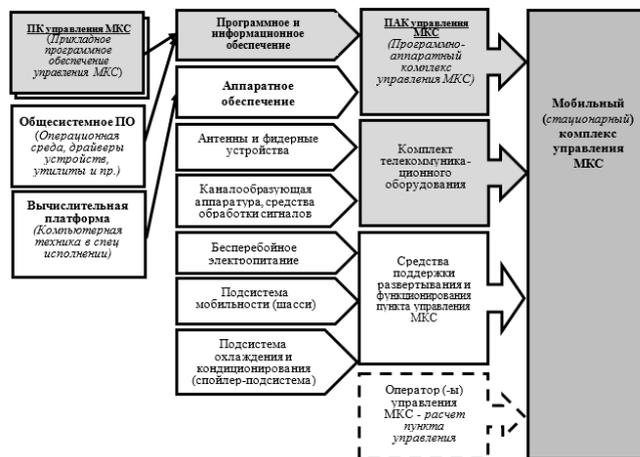


Рисунок 1 – Схема вложенности процессов создания составных частей ПАК управления МКС в базовых категориях исследования

В ходе исследования установлено, что качество ПАК управления МКС функционально определяется эффективностью и результативностью основных, управляющих и обеспечивающих

процессов СМК при разработке программных комплексов для них. 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 составляет более 50%).

Полученный вывод в полной мере распространяется и на разработку ПК управления МКС, как программных систем 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-технологию от других технологий разработки ППО для ПАК управления МКС.

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 прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС в рамках доминирующей технологии разработки – SCRUM (Таблица 1). Определение этого факта явилось следствием последовательных анализа обеспеченности основных базовых программно-информационных технологий, реализуемых в ПК управления МКС, научно-методическими и нормативно-техническими средствами контроля, улучшения качества и определения основных направлений исследований в квалиметрии и документов нормативно-технического регулирования, нашедших применение при разработке ППО для ПАК управления МКС, в следствии чего выявлен актуальный уровень покрытия потребностей современных технологических систем гибкой разработки ППО средствами формирования системы качества. 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, к которой относится SCRUM.

Эта технология, получившая широкое распространение при разработке высоко сложного ПО, в том числе ПК управления МКС, предполагает своевременную оценку качества с точностью до установления тенденции её изменений, что компенсируется при формировании качества указанного ППО высочайшей итеративностью самого технологического процесса разработки.

Технология разработки SCRUM 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 причин текущих 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 обосновывает использование методологически-сложного и алгебраически-громоздкого математического аппарата современной квалиметрии, что объективно блокирует его применимость в рамках методологии гибкой разработки программного обеспечения.

Таблица 1 - 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	-	-	+	Объективно устарел
2. ГОСТ 34.201-89	-	-	+/-	Объективно устарел
3. ГОСТ Р ИСО 9000-2015	+/-	+	+/-	
4. ГОСТ Р ИСО 9001-2015	+/-	+	+/-	
5. ГОСТ Р ИСО 25010 -2015	+	+	+	Распространяется на организационно-технические процедуры
6. ГОСТ Р ИСО27000-2015	+	+	+	Распространяется на организационно-технические процедуры
7. ГОСТ Р ИСО 12207-2010	-	+/-	+/-	
8. ГОСТ Р 51904-2002	-	-	+/-	
9. ГОСТ Р ИСО 15910-2002	-	+/-	+	
10. ГОСТ 15971- 90	-	-	+/-	
11. ГОСТ 28806-90	-	+	+	
12. ГОСТ Р ИСО 15288-2005	-	+/-	+	
13. ГОСТ Р ИСО 31 000-2010	+/-	+	+	Распространяется на данную предметную область косвенно
14. ГОСТ 28195-1989	-	-	+/-	Объективно устарел
15. ГОСТ Р ИСО 9126-1993	-	+	+	
16. ГОСТ Р ИСО 31 010 -2011	-	+	+	
17. ГОСТ Р 51 901.1 – 2002	-	+/-	+	
18. ГОСТ Р 51 901.2 – 2005	-	+/-	+	
19. ГОСТ Р 51 901.3 – 2007	-	+/-	+	
20. ГОСТ Р 51 901.4 – 2005	-	+/-	+	
21. ГОСТ Р 51 901.5 – 2007	-	+/-	+	
22. ГОСТ Р 57773-2017	+/-	+	+	
23. ГОСТ Р 57656-2017	-	+/-	+/-	Распространяется на данную предметную область косвенно
24. ГОСТ Р 57668-2017	-	+/-	+/-	Распространяется на данную предметную область косвенно
25. ГОСТ Р 50828-1995	-	-	+/-	
УРОВЕНЬ ПОКРЫТИЯ:	“+” = 2 “+/-”=4	“+” = 9 “+/-”= 10	“+” = 15 “+/-”= 10	

В работе обосновано, что систематизированные методологические основы улучшения качества комплексов управления мультикомпонентных систем за счет применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания ПК для них, реализующих методологию гибкой разработки программного обеспечения, должны и могут формироваться на базе научных положений квалиметрии программного обеспечения и методов разработки наукоемких программных приложений, теории иерархических систем управления, методов управления жизненным циклом продукции, принципов процессного подхода и достижений современной информатики. Формирование 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.

В ходе исследования установлен фактор того, что логически-систематизированный методологический аппарат оценки состояния 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 МКС. В результате, постулировано положение о том, что этот фактор был и остается определяющим, задающим «технологический горизонт» возможностей применения МКС.

На базе вышеизложенного констатируется, что систематизированной и логически-связной единой теории формирования и улучшения качества ПАК управления МКС на текущий момент времени не разработано. Используемые в этой области исследований методологические средства,

методики и технологии, потенциально рассматриваемые как основа указанной выше теории полностью не сформированы, не систематизированы, и, в целом, идентифицируются по междисциплинарному принципу. Это позволило сделать обобщающий вывод о необходимости и актуальной потребности разработки методологически целостного аппарата 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.

Таким образом, в завершении первой главы сформулирована основная гипотеза диссертационного исследования. Она состоит в том, что если предложить методологически целостный аппарат оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы процессов СМК 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.

Вторая глава — «Методологические основы улучшения качества комплексов управления мультикомпонентными системами» — включает в себя изложение 2-х первых положений, выносимых на защиту: научной концепции контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами; методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС.

Существо научной концепции контроля и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами заключается в обосновании структуры и адаптированного функционала системы управления качеством указанных ПАК для SCRUM-условий их разработки и создания. Эта концепция реализуется как совокупность квалиметрических элементов в технологическом процессе разработки и создания ПАК управления МКС и дает возможность за конечное число итераций достигнуть задаваемый уровень качества.

Разработанная концепция базируется на многоуровневом представлении процесса создания ПАК управления МКС и реализации его функционала в рамках современных технологических подходов к созданию наукоемкой технической продукции. Обобщенно это представление показано на Рисунке 3. 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 тестирование, 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 разделимы. 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.

Сделан вывод, что замена в технологической системе гибкой разработки программных комплексов для ПАК управления МКС традиционно понимаемой СМК на базе классических квалиметрических методов на ввод высокой 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 указанных комплексов. 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 этих ПК, в частности, и в систему качества одноименных ПАК, в целом.

Из сказанного вытекает, что современные (текущие) 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 недостатков качества создаваемого ПК управления МКС и их причин, как программного продукта, возможности обоснованного выявления путей скорейшего улучшения указанного качества.

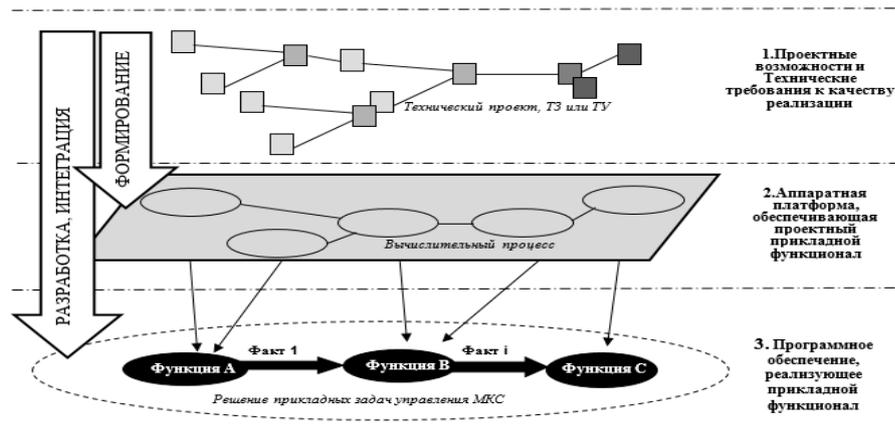


Рисунок 2 - Концептуальное представление процесса создания ПАК управления МКС и реализации его функционала

В рамках предложенной концепции указанное ограничение преодолевается за счет разработки научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания ПАК управления МКС, ориентированного и реализующего именно методологию гибкой разработки программного обеспечения для указанных комплексов. Этот научно-методический инструментарий позволяет эффективно строить систему качества ПАК управления МКС, как подсистему соответствующей технологической системы создания этих ПАК. Подсистема качества ППО в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПАК 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 и их причин, обозначающим потребности потенциального пользователя, но и пошаговое целеполагание мероприятий по исправлению указанного несоответствия. Обобщенная структурно-логическая схема функционирования подсистемы качества технологической системы разработки прикладного программного обеспечения для ПАК управления МКС приведена на рис. 3.

В диссертации в дополнении к приведенному выше обоснованию показано, что методологический характер концепции контроля и улучшения качества ПАК управления мульткомпонентными системами 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.

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 роботами-элементами мультикомпонентных систем.

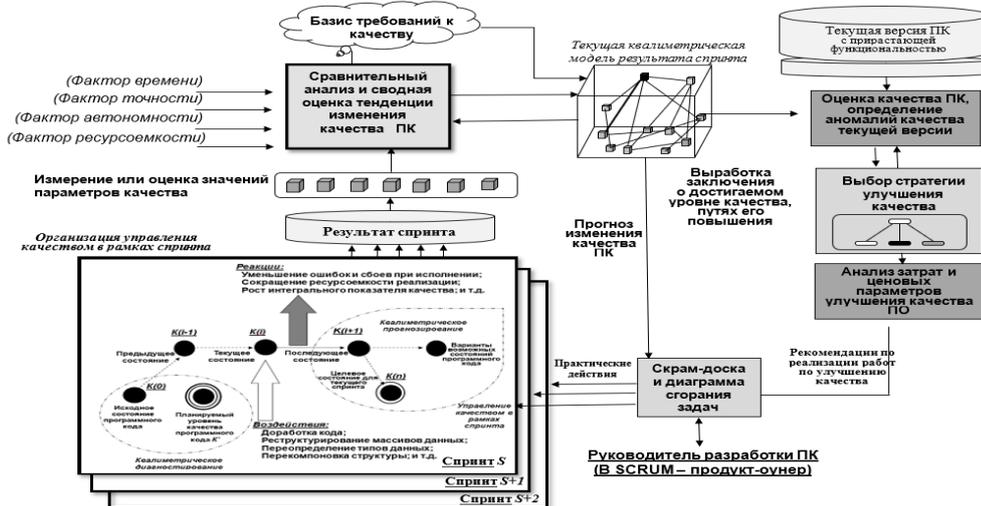


Рисунок 3 – Структурно-логическая схема функционирования подсистемы качества технологической системы разработки ППО для ПАК управления МКС

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.

Проведенный в ходе диссертационного исследования анализ свойств применимости систематизированных требований международного профессионального стандарта ISO/IEC 15504 (SPICE) и отечественных ГОСТ Р ИСО 9000 – 2015 (аналогичен ISO 9000-2015), ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015 (аналогичен ISO 9001-2015), ГОСТ Р ИСО 25010 – 2015 (аналогичен ISO 25010-2015) [20], ГОСТ Р ИСО 27000 – 2015 (аналогичен ISO 27000-2015), общепризнанной модели зрелости разработчиков программного обеспечения - CMMI (Capability Maturity Model Integration) в предметной области создания ППО для ПАК управления МКС позволил осуществить содержательное наполнение рассматриваемого базиса. Это наполнение методологического базиса квалиметрических требований к ПАК управления МКС реализуется в рамках организации формирования требуемого уровня качества прикладных функций управления элементами МКС; формирования и управления знаниями в СМК организации в соответствии с международным стандартом ГОСТ Р ИСО 30401-2020.

Указанное формирование опирается на наличие определенной организационно-логической схемы, которая представлена на рис. 4. Эта схема предусматривает четыре последовательных фазы в формировании требуемого уровня качества реализации прикладных функций управления МКС.

Основой указанной схемы является факт сравнительного анализа желаемого и фактически регистрируемого уровня качества создаваемого ПАК управления МКС. При этом желаемый результат формально описывается кортежем:

$$Q_{\text{жел}}^n = \{g_{\text{ПО}}^k, g_{\text{АП}}^m, P_{\text{Функ}}^t, S_{\text{Функ}}^l\}, \quad (1)$$

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

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

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

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

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

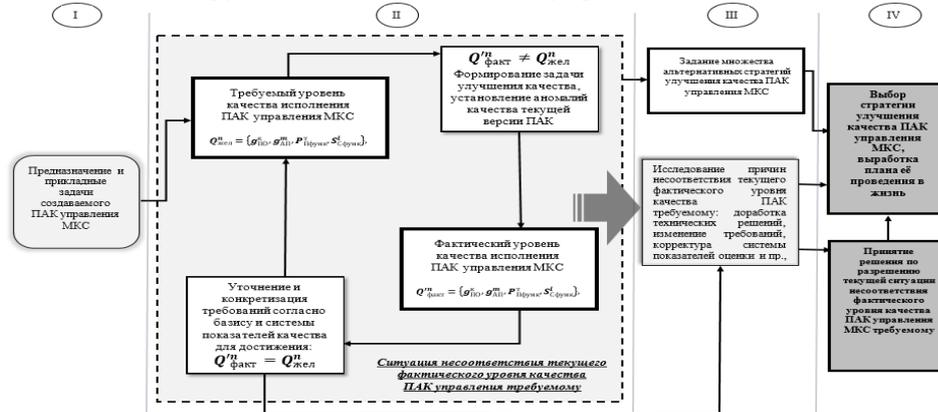


Рисунок 4 – Формирование требуемого уровня качества реализации прикладных функций управления МКС

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

$$n = k + m + T + l. \tag{2}$$

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:

$$Q_{\text{факт}}^n = \{g_{ПО}^k, g_{АП}^m, P_{\text{функ}}^T, S_{\text{функ}}^l\}, \tag{3}$$

где: $Q_{\text{факт}}^n, \{g_{ПО}^k\}, \{g_{АП}^m\}, \{P_{\text{функ}}^T\}, \{S_{\text{функ}}^l\}$ – соответствующие фактически-сложившиеся текущие значения выше введенных показателей. Тогда выявление ситуации несоответствующего текущего качества желаемому есть констатация наличия факта:

$$Q_{\text{факт}}^n \neq Q_{\text{жел}}^n. \tag{4}$$

При указанной констатации возникает необходимость детализированного изучения причин и оснований несоответствия текущего фактического уровня качества ПАК управления МКС требуемому. Результатирующей 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:

$$Q_{\text{факт}}^n \geq Q_{\text{жел}}^n. \tag{5}$$

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.

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 текущих недостатков в формируемом качестве комплексов, а, следовательно, и на устранение указанных недостатков, то есть разрешение выше указанных квалиметрических ситуаций.

Разработанный автором методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС, приведенный в приложении к основному тексту диссертации, прошел широкую апробацию и показал свою работоспособность в ряде разработок, выполненных с участием соискателя.

Третья глава – «Метод рекурсивной оценки качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами» - содержит описание и теоретическое обоснование основы оценки качества прикладного программного обеспечения указанного управления. Метод рекурсивной оценки качества программных комплексов управления МКС содержит обоснование подхода, методологических и математико-логических компонент осуществления оценивания указанного качества.

Разработанный 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. Данный метод, как основа для систем качества в рамках технологий разработки высоко сложного прикладного ПО для технических систем, к которым относятся и ПК управления МКС, ориентирован на динамичное применение рекурсивных, оценочно-приближенных методов в рамках так называемой «спиральной» модели разработки ПО. При этом 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.

Модель рекурсивной оценки качества ПК управления МКС является логико-математической моделью. Разработка метода рекурсивной оценки качества ПК управления МКС имела целью обоснование комплекса квалиметрических процедур, в силу чего данная модель включает в себя 4 логико-обособленных подмодели: во-первых, синтеза структуры вложенности показателей качества; во-вторых, определения индексов композиционной важности показателей качества; в-третьих, определения числовых значений сводных показателей качества; в-четвертых, построения и сравнения профилей качества. Обобщенная структура этой модели и взаимосвязь подмоделей в её составе показана на рис. 5 и поясняющих расшифровках к нему.



Рисунок 5 – Структура модели рекурсивной оценки качества ПК управления МКС

Входными данными для разработанной 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 количество привлеченных экспертов к первоначальному синтезу структуры вложенности показателей качества;

n – общее количество 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, 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;

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

Выходными данными разработанной модели 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.

В рамках модели качество ПК управления МКС оценивается интегральным показателем. При этом ряд характеристик оценивается простейшими, а некоторые сводными показателями, образуя соответствующую иерархию вложенности более простых показателей в состав интегрального. Определено, что отдельные экспертно-оценочные методики рационально использовать как соответствующие средства выявления недостатков проекта разработки ПК управления МКС, которые могут быть устранены в процессе дальнейшей разработки и совершенствования программного кода. Из сказанного следует, что задать универсальную иерархию вложенности простейших и сводных показателей, образующих интегральный показатель Q_0 = «качество ПК управления МКС» не является возможным. На основании этого сформулирован вывод, что необходим подход, который дает возможность для каждого конкретизированного проекта разработки ПК управления МКС предпочтительно синтезировать многоуровневую иерархическую вложенность показателей качества. Указанный синтез структуры вложенности показателей рекурсивной оценки качества осуществляется на основании данных экспертного опроса специалистов в области квалиметрии ПО. Он заключается в формировании неупорядоченного множества показателей рекурсивной оценки и реализации процедуры упорядочивания показателей по принципу иерархической вложенности более простых показателей в комплексные. В свою очередь, формирование неупорядоченного множества показателей $\{q_i\}$ осуществляется путем логического построения дерева целей и задач Λ для функционального предназначения ПК управления МКС:

$$\Lambda = \langle \Theta, S \rangle, \quad (6)$$

где: Θ – 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.

$$\text{При} \quad \begin{aligned} \Theta &= \{q_1, \dots, q_i, \dots, q_n\}; \\ S &= \{S_j\}; \end{aligned} \quad (7)$$

указанное дерево есть:

$$\Lambda = \langle \{q_1, \dots, q_i, \dots, q_n\}; \{S_j\} \rangle. \quad (8)$$

Тогда, учитывая вложенность более простых показателей качества в сложные как:

$$q_i \in \langle \{q_{i1}, \dots, q_{im}, \dots, q_{iM}\}; \{S_{jp}\} \rangle, \quad (9)$$

выражение (6) в работе рассмотрено как:

$$\Lambda = \langle \{q_1(\{q_{11}, \dots, q_{1M}\}) \dots q_i(\{q_{i1}, \dots, q_{iM}\}) \dots q_n(\{q_{n1}, \dots, q_{nM}\})\}; \{S_j\} \rangle. \quad (10)$$

Таким образом, за M шагов логической декомпозиции функционального предназначения создаваемого ПК управления МКС, согласно (10) формируется 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 Q_0 = «качество ПК управления МКС», а также многоуровневости в его логическом представлении системой соответствующих показателей. Основные шаги процедуры упорядочивания показателей в систему для рекурсивной оценки:

1. 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:

$$t_{ij} \in \{0, 1\}, \quad (11)$$

Исходная матрица предпочтений k -го эксперта является диагональной:

$$t_{ii} = t_{jj} = 0. \quad (12)$$

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

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } q_i > q_j; \\ 0, & \text{при } q_i < q_j \text{ или при отсутствии вложенности.} \end{cases} \quad (13)$$

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

$$\|q_{ij}\| = \sum_{k=1}^K \|t_{ij}\|^k. \quad (14)$$

Соответственно, элементы промежуточной матрицы $\|q_{ij}\|$ определяются как суммы соответствующих матриц (11):

$$q_{ij} = \sum_{k=1}^{k=K} t_{ij}^k. \quad (15)$$

$$q_{ii} = q_{jj} = 0. \quad (16)$$

3. На базе промежуточной матрицы $\|q_{ij}\|$ принимается решение о наличии и направленности отношения вложенности для каждой пары показателей качества (q_{ij}, q_{ji}) . Для этого каждая обратно-взаимосвязанная пара значений (q_{ij}, q_{ji}) рассматривается как реализация типовой схемы испытаний Бернулли с 2-мя исходами, согласно (13). Тогда вероятность $P_{(d,2,k)}$ выпадения d успехов при 2 вариантах исходов и при общем числе испытаний равным k , т.е. общем количестве экспертов в экспертной группе описывается биномиальным законом распределения:

$$P(d; 2; k) = G_k^d p^d (1-p)^{(k-d)}, \quad (17)$$

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 – количество успешных испытаний в схеме Бернулли (количество 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:

$$p=1-p=1/2 \quad (18)$$

выражение (17) в рамках рассматриваемого метода приняло вид:

$$P(d; 2; k) = G_k^d \times 0,5^d \times 0,5^{(k-d)} = G_n^d \times 0,5^k. \quad (19)$$

Гранично-пороговое значение k для (19) определяется на основании классического математического аппарата статистического выбора. Превышение значение k 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 иерархическую структуру системы показателей качества ПК управления МКС:

$$\bar{S}_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } d_{ij} \geq k'; \\ 0; & \text{при } d_{ij} < k'. \end{cases} \quad (20)$$

4. На завершающем шаге процедуры осуществляется полный поэлементный вывод матрицы смежности $\|\bar{S}_{ij}\|$ согласно правилу (20). 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 $\{q_{ij}\}$.

Определение индексов композиционной важности осуществляется как определение некоторого комплексного параметра, рассчитываемого по совокупности характеристик анализа степени возможной объективности в оценивании качества по простейшим показателям качества. Иными словами, в условиях очевидного субъективного характера получаемых первичных оценок простейших показателей процессов и высокой итеративности процедур оценивания в рамках SCRUM-технологии разработки ППО, в целях обеспечения простоты применения разрабатываемого квалиметрического аппарата индексы композиционной важности следует рассматривать как параметры объективности получения соответствующей оценки по более простому показателю качества. Расчетная схема получения индексов композиционной важности осуществляется путем выполнения следующей последовательности для каждого узла вложенности системы показателей оценки качества ПК управления МКС:

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

$$\|A\| = \{a_{ij}\}, \quad (21)$$

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 экспертной оценки значений простейших показателей в процентах степени достижимости.

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

$$b_i = \sum_{j=1}^p a_{ij}(h_j/q_i). \quad (22)$$

3. Осуществляется нормировка параметров b_i по правилам:

$$B = \sum_{i=1}^n b_i; \quad (23)$$

$$w_i = \frac{b_i}{B}; \quad (24)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1. \quad (25)$$

4. На базе соотношений (21) – (25) сводную формула расчета индексов композиционной важности $\{w_i\}$, принимает вид определения вектора значений арифметических средних по исходной матрице $\|A\|$:

$$\{w_i\} = \langle w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_n \rangle : w_i = \frac{\sum_{j=1}^p a_{ij}(h_j/q_i)}{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^p a_{ij}(h_j/q_i))}; \quad (26)$$

В работе установлено, что модель рекурсивной оценки качества ПК управления МКС, в целом, ориентирована на получение первичных данных квалиметрических 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. При этом 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 тестируемой версии реализации ПО с состоянием этого же показателя у идеальной модели в сознании эксперта.

Определение числовых значений сводных и интегрального показателя качества ПК управления МКС осуществляется через соответствующие алгебраические формы интегральной свертки.

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:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^{m'} w_i \cdot c(q_i); \quad (27)$$

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

Недостаток математической формы (27) заключается в том, что 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:

$$Q_0 = \prod_{i=1}^{m'} w_i \cdot c(q_i). \quad (28)$$

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. Промежуточными математическими свойствами будут обладать комбинированные формы интегрального критерия качества ПК управления МКС:

1) аддитивно-мультипликативная:

$$Q_0 = \sum_{j=1}^{n'} (\prod_{i=1}^{m'} w_i \cdot c(q_i))_j; \quad (29)$$

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

2) мультипликативно-аддитивная:

$$Q_0 = \prod_{j=1}^{n'} (\sum_{i=1}^{m'} w_i \cdot c(q_i))_j; \quad (30)$$

т.е. 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 (27) – (30) в зависимости от внешних требований к оперативности проводимой оценки, чувствительности системы показателей качества и пр.

В завершении описания искомой модели показано, что 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 недостатки в текущем качестве разрабатываемой версии ПО. Недостаток (он же - несоответствие по показателям) 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. Негативное несоответствие по показателям качества графически на профиле качества представляет собой выброс гистограммы текущих оценок в область низких значений. 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 недостатков 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.

Методика рекурсивной оценки качества ПК управления МКС является неотъемлемой частью одноименного метода. Логика и алгоритм реализации этой методики тесно взаимосвязаны 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. Алгоритм рекурсивной оценки качества ПК управления МКС показан на рис.6.

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 циклической 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.

Четвертая глава – «Методологические средства улучшения качества программных комплексов управления мультикомпонентными системами» включает описание комплекса моделей негативных несоответствий по показателям качества искомого ПК, а также изложение двух методов: ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества и управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС.

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 качества в профиле качества представляет собой выброс текущих оценок в область низких значений.

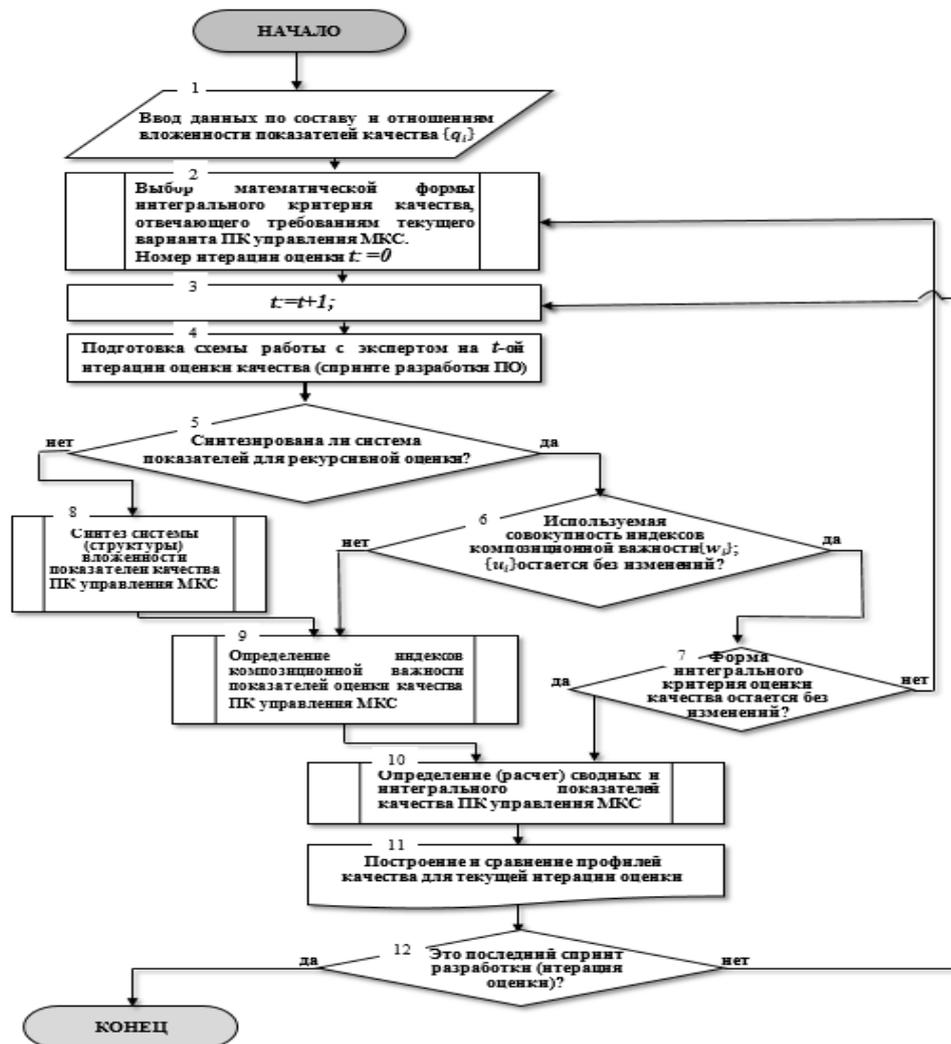


Рисунок 6 - Обобщенный алгоритм рекурсивной оценки качества ПК управления МКС

Исходя из ранее обоснованной обобщающей концепции, комплекс моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС следует рассматривать как совокупность логико-математических паттернов для автоматизированного распознавания соответствующих недостатков качества при разработке программного обеспечения указанных ПК. Входными параметрами применения той или иной модели несоответствия по показателям качества выступают виды шкал, используемых для оценки качества, а также заданная на них мера. Все модели (подмодели) негативных несоответствий качества ПК управления МКС, обобщенно представленные выше, имеют различную математическую основу. Модели, использующие меру номинальных шкал при не инструментальном измерении значений простейших показателей (ВКХ- и ВСХ-несоответствия), используют логико-математический аппарат качественно-количественного анализа и семантического дифференциала соответственно. Применение меры на основании ранговой шкалы для оценки значений по простейшим показателям качества (ДР- и ДРН-несоответствия) определяет возможность применения аппарата агрегирования системных показателей. В свою очередь, ДМ-несоответствие по показателям качества выявляется при использовании меры, определяемой на метрической шкале абсолютных величин. Модель, использующая вероятностную меру при оценивании значений простейших показателей (ЛС-несоответствие), опирается на математический аппарат логико-вероятностного метода.

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. Обобщенно разработанный комплекс логико-математических моделей представлен в Таблице 2.

Таблица 2 - Классификационная структура комплекса моделей негативных 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 недостаткам качества ПО	Мера, задаваемая на шкале измерения значений $c(q_i)$	Условное название модели (подмодели) негативных несоответствий 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 / разворачивания функций качества	Применимо при первичном, ориентировочном анализе качества
		1.2. Семантический дифференциал	Значения лингвистической переменной с различной степенью выраженности	Вербально-семантического характера в определении (<i>ВСХ-несоответствие</i>)	Метод структурирования / разворачивания функций качества	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.	Метрическая 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

В диссертации показано, что комплекс логико-математических моделей негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС, являясь первым элементом совокупности методологических инструментов улучшения качества указанных ПК, позволяет по результатам проведения рекурсивной оценки качества ПК управления МКС и установления четких границ недостатков этого качества, в рамках технологической системы SCRUM, перейти к осуществлению обоснованного выбора соответствующей стратегии улучшения качества из заблаговременно определенного 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).

Метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС включает обоснование выбора научно-методического аппарата для определения приоритетности заранее разработанных стратегий, модели и алгоритмы выработки текущей стратегии улучшения качества указанных ПК, и соответствующую методику (последовательность этапов) ранжирования совокупности таких стратегий. 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.

Произведена постановка задачи ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС. Обосновано, что стратегия улучшения качества ПК 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 SCRUM-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.

При проектировании и разработке ПК управления МКС должны применяться два способа ранжирования: по прямому процессу, т.е. от существующего уровня качества к требуемому, и по обратному процессу, т.е. путем определения последовательности шагов достижения требуемого уровня качества путем регресса до текущего уровня (рис. 7).



Рисунок 7 - Взаимосвязь подпроцессов прямого и обратного ранжирования

Каждый из приведенных процессов ранжирования реализуется в рамках метода через формирование и последовательное применение иерархических систем показателей прямого и обратного ранжирования в соответствии с методологией аналитического планирования. На основании указанной методологии становится возможным осуществить расчет весовых коэффициентов влияния: непосредственных и глобальных $\{\bar{w}_i, \bar{u}\}$, которые выступают параметром ранжирования стратегий из базового перечня. При этом первоначально осуществляется расчет числового вектора непосредственных весовых коэффициентов влияния $\bar{w} = (\bar{w}_1, \dots, \bar{w}_m)$ по каждому узлу в иерархии прямого ранжирования стратегий улучшения качества ПК управления МКС с использованием математического аппарата прореживания исходных числовых сеток, т.е. каждый элемент результирующего вектора \bar{w} рассчитывается путем осреднения соответствующего вектор-столбца исходной числовой сетки, прореженной согласно предварительной информации о приоритетности I , согласно формуле:

$$\bar{w}_i(I) = \frac{1}{N(m,n;I)} \sum_{t=1}^{N(m,n;I)} w_i^{(t)}. \tag{31}$$

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:

$$\bar{u}_{j_i m} = \prod_{s=i}^{m-1} \bar{w}_{j_s} \bar{w}_{j_{s+1}}, \tag{32}$$

где: $\bar{u}_{j_i m}$ - 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.

Полученный вектор значений $\bar{u} = (\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_m)$ уточняется при обратном ранжировании с использованием соответствующей иерархии обратного ранжирования, учитывающей возможности текущей команды разработчиков. Если по результатам уточнения числового вектора $\bar{u} = (\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_m)$ последовательность в приоритетности не изменилась, то стратегии принимаются к реализации в последовательности убывания глобальных весовых коэффициентов влияния для соответствующих стратегий улучшения качества ПК управления МКС.

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.

Экономичность проекта разработки ПК управления МКС является ограничительной 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.

Тогда экономичность проекта разработки ПК управления МКС в рамках предлагаемого концептуального рассмотрения выражается как:

$$\vartheta = \rho \varepsilon = \rho \hat{n} \tau, \quad (33)$$

где: ϑ – экономичность разработки ПК управления МКС, в рамках технологической системы SCRUM;

ρ - вероятность того, что работы (трудозатраты команды программистов) на соответствующих итерациях разработки нецелесообразны (избыточны, не дают значимого прироста качества и пр.);

ε - 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;

τ - нормировано-осредненная трудоемкость одного спринта разработки.

Представление (33) 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. В частности, система показателей рекурсивной оценки качества ПК управления МКС рассмотрена 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 осуществлен расчет риска для сводных и интегральных показателей Q . При этом интенсивность связей между показателями в системе

числом: \tilde{L}_{ij} = «экономичность разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по текущему показателю» определяется как произведение $L1$ и $L2$. В силу того, что терм-множества лингвистических переменных $L1$ и $L2$ репрезентируются в виде функций принадлежности нечетких чисел одной и той-же формы, то функции принадлежности $\mu_T^{\tilde{L}_{ij}}$ для значений \tilde{L}_{ij} определяются согласно алгебры нечетких множеств для умножения нечетких чисел как соответствующих интервалов принадлежности. Введение и градуирование меры для всех простейших показателей в виде значения нечеткого числа: \tilde{L}_{ij} = «экономичность разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по текущему показателю» позволяет выразить экспертную оценку простейших показателей риска необоснованных затрат количественно, а затем использовать её в составе интегральной свертки значений оценок простейших показателей в сводные показатели рассматриваемой экономичности.

При этом частном подходе градуирование сводных показателей в составе иерархической системы показателей оценки предполагает, что оценив экономичность (риск необоснованных затрат) по простейшим показателям в виде единого значения нечеткого числа, далее оперировать со значениями именно переменной \tilde{L}_{ij} = «экономичность разработки ПК управления МКС при достижении требуемого качества по текущему показателю». Такое градуирование заключается в расчете композиции функций принадлежности нечетких чисел $\mu_T^{\tilde{L}_{ij}}$ для значений \tilde{L}_{ij} , описывающих каждый из рассматриваемых сводных показателей.

Третий шаг методологического аппарата управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС реализует алгоритм расчета всех значений функций принадлежности нечетких чисел $\mu_T^{\tilde{L}_{ij}}$ для значений \tilde{L}_{ij} как для задания всех градаций сводных и интегрального показателя, так и для значений текущих оценок получаемых от эксперта. В дальнейшем реализуется интерпретация полученных оценок экономичности по интегральному и сводным показателям как текущего значения риска необоснованности и неэффективности производимых затрат на совершенствование проекта ПК управления МКС на поздних спринтах разработки, которая в свою очередь трансформируется в решения по продолжению или изменению текущей стратегии разработки. Т.е. существо управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС сводится к определению путей и способов минимизации рисков необоснованности и неэффективности трудозатрат команды разработчиков на поздних спринтах разработки текущего функционала в рамках технологической системы SCRUM (рис. 9).

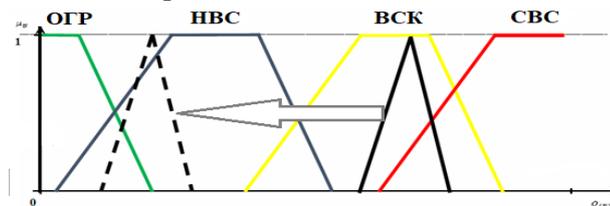


Рисунок 9 – Представление снижения риска необоснованных трудозатрат на поздних спринтах разработки в рамках технологической системы SCRUM

Таким образом, разработанный метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС представляет собой научно-методический инструментальный риск-менеджмента неэффективных трудозатрат проектов разработки соответствующего ПО при обеспечении качества. При этом суть управления экономичностью заключается в снижении (минимизации) излишних спринтов при разработке ПК управления МКС в технологической системе SCRUM при условии обеспечения полноты реализации спроектированной функциональности. Данный научно-методический инструментальный есть методологическое средство улучшения качества указанных ПК.

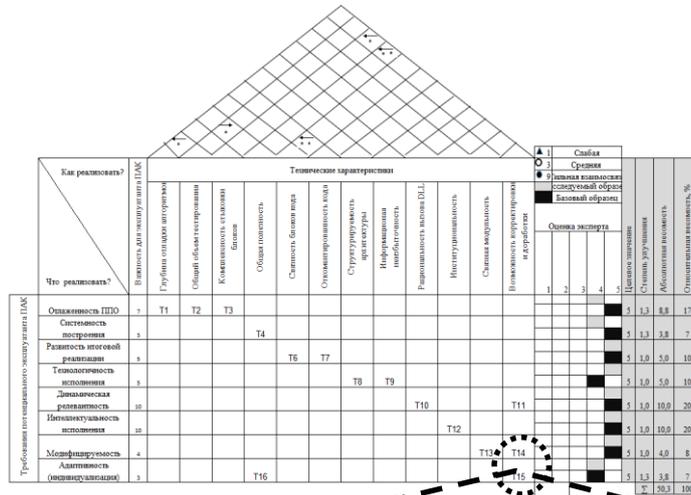
Пятая глава – «Реализация проектов по разработке комплексов управления мультикомпонентными системами. Оценка эффективности результатов исследования» посвящена обоснованию и разработке метода выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС и частному исследованию эффективности результатов данной диссертационной работы.

При обосновании метода выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС показано, что в практической реализации проектов по разработке указанных комплексов 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 указанных программно-аппаратных комплексов, их программного обеспечения в рамках технологической системы SCRUM. В диссертационной работе показано, что существо последовательного применения базовой многотабличной диаграммы QFD-метода в рамках технологического SCRUM-процесса при разработке ПАК управления МКС прежде всего заключается в обеспечении непрерывной выработки практических рекомендаций по совершенствованию программно-функциональных характеристик текущей версии ПК управления МКС, определяющих свойства ПАК в целом.

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 и обоснования технических решений. Этот факт указал на необходимость 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). 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. 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 ПАК путем выработки конкретизирующих рекомендаций. 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. Пример многотабличной QFD-диаграммы, отражающей существо модернизации алгоритма применения QFD-метода в рамках технологической системы SCRUM при разработке ПАК управления МКС показан на рис. 10.

В ходе диссертационного исследования обоснована рациональная последовательность укрупненных этапов предлагаемого метода выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПАК управления МКС.

Проверка практической применимости и достоверности результатов диссертационного исследования проведена в рамках ряда НИОКР, как многоэтапная и многоуровневая апробация разработанных методов и других методологических средств в качестве научно-методической основы для инструментария инженеров-системотехников, специалистов по контролю качества при создании ПАК управления МКС.



(+!) - достигает роста качества эффективнее, чем другие методы этой группы, " + " - в целом достигает роста качества, " - " - достигает роста качества менее эффективно, чем другие методы этой группы

Т15	Аппаратная платформа			Общесистемное программное обеспечение			Прикладное программное обеспечение						Интенсивность проявления
	Исходные архитектуры	Компонентное замещение составных частей (блоков)	Наращивание ресурсов вычислительной подсистемы	Обеспечение кроссплатформенности ОС	Конфигурируемые ОС и СУБД	Пересмотр объема и структуры DLL	Пересмотр структуры классов	Пересмотр баз маг. функций	Перепрограммирование процедур	Перекофигурирование систем интерфейсов IP	Внедрение основных ресурсов в БД	Углубленное тестирование и перестройка	
Гибкость структуры													
1. Стандартизация интерфейсов	-	+!	+	+!	+!	-	-	-	+	+!	+!	+	Высокая
2. Типизация компонент	-	+!	+	-	-	+!	+!	+	+!	+	+!	+!	Средняя
3. Дублирование	+	+	+!	+	-	+!	+!	+	+!	+!	+!	+!	Средняя
Интеллектуальность													
1. Привнесение ИИ	+!	-	+!	+!	+	-	+!	-	+	+!	-	+	Высокая
2. Информационная избыточность	+	+	+!	+	-	+!	+!	+	+	+	+!	+	Низкая
Настраиваемость													
1. Обеспечение возможности настройки параметров	-	+!	-	+!	+!	+	+!	+	-	+	+!	+	Высокая
2. Изменяемость системы по входным данным	+	+!	+!	+!	+!	+!	+!	-	+!	+!	+!	+!	Средняя
Вариабельность													
1. Возможность реинжиниринга	+	+!	+	+	+!	+!	+!	+	+!	+	+!	+!	Низкая
2. Экспортируемость	+	+!	-	+!	+	+!	+	+!	+!	+!	+!	+!	Низкая
Робастность													
1. Регидность	+	-	+	+	+	+	+!	+	+!	+!	+!	+	Средняя
2. Наличие контроля													Низкая

Рисунок 10 – QFD-диаграмма, ориентированная на применение при разработке ПАК управления МКС в рамках технологической системы SCRUM

Во второй части главы пять приведены результаты экспериментальной оценки эффективности полученных в ходе диссертационного исследования методов, моделей, методик, положений, выводов и рекомендаций по оценке текущего качества и повышению результативности технологической системы создания ПАК управления МКС, обеспечивающих улучшение этого качества путем совершенствования квалиметрических аспектов методологии гибкой разработки. При этом, цель эксперимента была: 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 указанном модельном научно-производственном предприятии. На качественном уровне оценки эффективности по результатам диссертационного эксперимента сделан вывод о том, что предложенный методологически целостный аппарат оценки текущего качества и повышения результативности технологической системы создания ПК для ПАК 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 мультикомпонентными системами 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 негативных несоответствий по показателям 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.

В дополнение к указанной оценке разработанных научных результатов в ходе эксперимента проведена аналитическая оценка их эффективности с использованием математического и программного аппарата имитационно-статистического моделирования. При этом имитационная модель всех основных операций контроля и управления качеством ПО для ПАК управления МКС в технологической системе, организованной по методологии SCRUM, была разработана в графической среде моделирования AnyLogic (Пакет 8.5.1 от 01.10.2019) в нотации IDEF- Integration Definition for Function Modeling. В работе приведена функциональная структура разработанной имитационной модели управления качеством в технологической системе SCRUM гибкой разработки программных комплексов ПАК управления МКС, описанная согласно нотации обозначений IDEF, 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 общепринятые составляющие результативности,

Моделирование выполнено по структуре вычислительного эксперимента, 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;

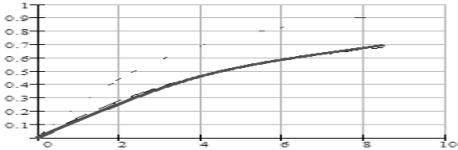
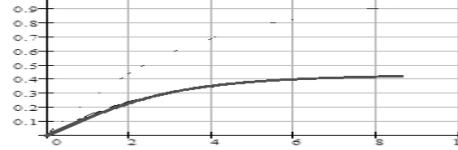
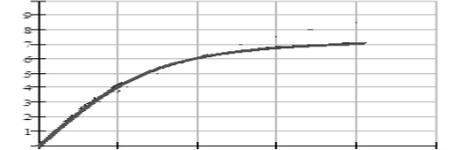
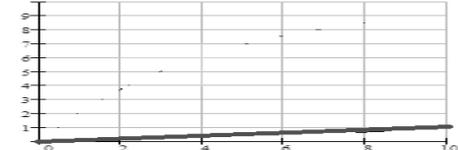
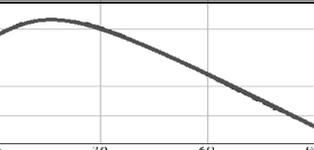
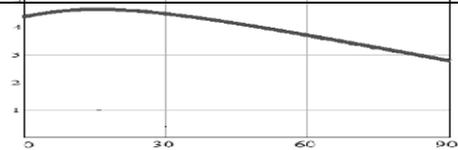
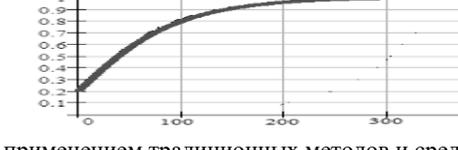
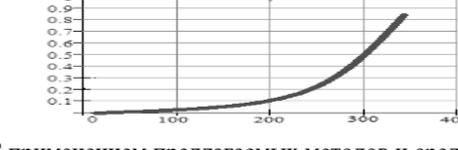
- 2 вариант, реализующий методы и средства улучшения качества комплексов управления МКС, разработанные в данном диссертационном исследовании;

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.

На основе выше описанной имитационно-статистической модели управления качеством в технологической системе SCRUM гибкой разработки программных комплексов ПАК управления МКС и приведенных в работе узко предметных интерпретаций составляющих результативности, а также полученных данных оценки по ним итогов моделирования, как соответствующих значений показателей эффективности, в рамках вычислительного эксперимента удалось получить следующие результаты, обобщенные в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты оценки эффективности разработанных методов и методологических средств на основе моделирования управления качеством ПАК управления МКС

<p>а) Уменьшение вероятности возникновения нецелесообразных трудозатрат текущего спринта разработки ППО (риска возникновения неэффективных трудозатрат при разработке компонент ПО).</p>	
 <p>спр.</p> <p>С применением традиционных методов и средств улучшения качества</p>	 <p>спр.</p> <p>С применением предлагаемых методов и средств улучшения качества</p>
<p>б) Уменьшение среднестатистического числа спринтов разработки необходимых для полноценного формирования прикладной функциональности программного компонента</p>	
 <p>с.ст.к</p> <p>С применением традиционных методов и средств улучшения качества</p>	 <p>с.ст.к</p> <p>С применением предлагаемых методов и средств улучшения качества</p>
<p>в) Нарастание среднестатистического количества выявляемых системных ошибок при стыковке и отладке компонент в составе ПАК управления МКС в единицу времени</p>	
 <p>ч.кмп</p> <p>С применением традиционных методов и средств улучшения качества</p>	 <p>ч.кмп</p> <p>С применением предлагаемых методов и средств улучшения качества</p>
<p>г) Уменьшение вероятности возникновения ошибки при росте числа строк исполняемого программного кода в текущей программной компоненте ПАК управления МКС.</p>	
 <p>стр.к</p> <p>С применением традиционных методов и средств улучшения качества</p>	 <p>стр.к</p> <p>С применением предлагаемых методов и средств улучшения качества</p>

Некоторые составляющие результативности как показатели эффективности в рамках данного вычислительного эксперимента носят композиционный характер и были проанализированы посредством экспертизы.

В результате анализа интерполированных и сглаженных результатов оценки эффективности разработанных методов и методологических средств улучшения качества комплексов управления МКС, становится возможным 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 ПО для них, реализующей методологию гибкой разработки.

В заключении даны итоговые формулировки семи научных результатов (положений), выносимых на защиту, обоснованы перспективные направления дальнейших научных исследований в научной области улучшения качества комплексов управления МКС.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная диссертационная работа, представляемая на соискание ученой степени доктора технических наук, направлена на решение значимой научной проблемы улучшения качества ПАК управления МКС на основе применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности технологической системы создания ПК для них, за счет полноценной реализации и усовершенствования методологии гибкой разработки программного обеспечения, путем адаптированного квалиметрического оценивания, обоснованного выбора стратегии и приемов совершенствования. В данной диссертации поставлены и разрешены задачи исследования, как указано ниже:

1. Сформирована научно-методическая концепция контроля процессов создания и улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами, которая 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. Предложен методологический базис квалиметрических требований к ПАК управления МКС, обеспечивающий 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. Разработан метод рекурсивной оценки качества ПК управления МКС в отличие от известных содержащий 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. Разработан комплекс моделей системы менеджмента качества организации и негативных несоответствий по показателям качества ПК управления МКС, который впервые обеспечил переход на качественно новый уровень процесса целенаправленного выявления недостатков компонент программного кода за счет их обобщения и типизации.

5. Разработан метод ранжирования альтернативных стратегий улучшения качества ПК управления МКС, позволяющий 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. Разработан метод управления экономичностью проекта разработки ПК управления МКС, который позволяет контролировать уровень итеративности технологии создания этих ПК за счет снижения риска необоснованных и нецелесообразных трудозатрат.

7. Предложен метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент ПК управления МКС, который реализует обоснованное целеполагание в процессе разработки указанных ПК, за счет агрегирования метода структурирования функций качества, механизмов биматричного представления в состав технологической схемы их разработки.

Осуществлено внедрение полученных научных результатов в систему менеджмента качества предприятия-разработчика МКС и комплексных систем управления ими, в виде группы

стандартов по реализации процедур повышения результативности технологической схемы создания, улучшения качества создаваемых ПАК управления МКС.

Достижение поставленной цели, а именно улучшение качества ПАК управления МКС на основе применения обобщающей концепции и научно-методического инструментария повышения результативности риск-ориентированных процессов технологической системы создания ПК за счет полноценной реализации и усовершенствования методологии гибкой разработки программного обеспечения управления МКС, обоснованно подтверждается полученными практическими результатами повышения результативности при улучшении значений временных показателей экономичности процессов проектирования, разработки и отладки:

- уменьшение трудозатрат на разработку специализированных компонент кода ПК управления МКС на 3-8% в ООО «ОМЗ-ИТ»;
- уменьшение среднего времени разработки и отладки программного модуля реализации типовой прикладной функции на 15-20% в АО «НИИ «Рубин», ООО «ОМЗ-ИТ»;
- уменьшение среднего времени перекомпоновки и верификации типового программного модуля на 5-10 % в АО «ОКЕНИТ».

Проведена апробация предлагаемой научной концепции, методологического аппарата при разработке и создании соответствующего прикладного программного обеспечения как на ряде предприятий софтверной сферы деятельности, специализирующихся на разработке программных изделий для автоматизированного приборостроения, так и в ходе научно-педагогической деятельности по подготовке магистров и бакалавров, реализуемой автором в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». Применение разработанных концепции, методов и научно-методических средств позволили повысить обоснованность и системологичность организационно-технических, технических решений, принимаемых при разработке и создании ПАК управления МКС с опорой на методологию гибкой разработки, а, в конечном итоге, добиться более высокого уровня качества указанных комплексов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. Смирнова, М.С. Метод выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент программно-аппаратных комплексов пространственного управления объектами авиационной робототехники / М.С. Смирнова // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 2 (97). С. 115-121.
2. Смирнова, М.С. Управление экономичностью проектов разработки программного обеспечения для предприятий северо-западного региона / М.С. Смирнова, А.А. Оводенко, Ю.А. Антохина, Е.Г. Семенова // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2021. № 1 С. 3-8
3. Смирнова, М.С. Модель построения профилей качества программных комплексов пространственного управления объектами авиационной робототехники / М.С. Смирнова // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 1 (97). С. 78-83.
4. Смирнова, М.С. Методика рекурсивной оценки качества программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов / М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2020. № 1. С. 51-54.
5. Смирнова, М.С. Характеристика технологического уровня разработки программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов на отечественных предприятиях авиаприборостроения / Смирнова М.С. // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 10. С. 85-89.
6. Смирнова, М.С. Метод многопараметрического оценивания качества на основе мягких вычислений / Е.А. Фролова, Е.Г. Семенова, Я.А. Ивакин, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 7. С. 25-30.
7. Смирнова, М.С. Особенности разработки и обеспечения качества программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов / М.С. Смирнова // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 7 (97). С. 119-123.
8. Смирнова, М.С. Методологический базис квалиметрических требований к программно-аппаратным комплексам управления беспилотными летательными аппаратами / М.С. Смирнова // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 8 (98). С. 61-65.

9. Смирнова, М.С. Управление качеством интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники на всех этапах жизненного цикла / Я.А. Ивакин, Е.А. Фролова, К.В. Балашова, М.С. Смирнова, Б.В. Титков // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 1. С. 73-81.
 10. Смирнова, М.С. Обеспечение качества программно-аппаратных комплексов для центров хранения и обработки данных / Я.А. Ивакин, С.А. Морозов, В.М. Балашов, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 3. С. 145-150.
 11. Смирнова, М.С. Управление производственно-технологическими комплексами в условиях неопределенности / В.М. Балашов, С.А. Морозов, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 2. С. 86-89.
 12. Смирнова, М.С. Структура системы требований квалиметрической оценки ситуационного управления пространственными процессами / Я.А. Ивакин, С.В. Мичурин, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 6. С. 33-35.
 13. Смирнова, М.С. Моделирование состояния инновационного производства / С.В. Кочетков, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова, В.Г. Фарафонов // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 1. С. 60-64.
 14. Смирнова, М.С. Автоматизированные системы ситуационного управления и диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте / Я.А. Ивакин, С.В. Мичурин, М.С. Смирнова // Радиопромышленность. 2015. № 4. С. 56-64.
 15. Смирнова, М.С. Анализ уровня зрелости процессов организации производства и разработки программных продуктов / А.Г. Степанов, М.С. Смирнова, В.А. Копычев // Вопросы радиоэлектроники. 2014. Т. 1. № 1. С. 114-121.
- Статьи в рецензируемых журналах, входящих в системы цитирования Web of Science и Scopus**
16. Smirnova, M.S. Features of the QFD method in the development of software and hardware complexes for controlling groupings of unmanned aerial vehicles / E.G. Semenova, Yu.A. Antokhina, V.M. Balashov, M.S. Smirnova // В сборнике: JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32050.
 17. Smirnova, M.S. Rationalization of the process of improving the quality of spatial control systems for unmanned aerial vehicle groupings / E.G. Semenova, Ya.A. Ivakin, V.M. Balashov, M.S. Smirnova // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering - APITECH-2019". Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. 2019. С. 22035.
 18. Smirnova, M.S. Models and methods of information reliability and data protection / G.I. Korshunov, V.A. Lipatnikov, V.A. Tichonov, A.G. Varjapetyan, M.S. Smirnova // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering – MIP: Engineering – 2019". Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. С. 52001.
 19. Smirnova, M.S. Evaluation of product quality nonconformity risk found at production / M.V. Shanta, E.G. Semenova, M.S. Smirnova // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. С. 32005.
 20. Smirnova, M.S. The software systems for managing dissimilar unmanned aerial vehicle groupings and its quality / E.G. Semenova, Ya.A. Ivakin, V.M. Balashov, M.S. Smirnova // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. С. 32049.
 21. Smirnova, M.S. Integral criteria for evaluation of scientific and technical research / S. Nazarevich, M. Smirnova, V. Tushavin // International Journal for Quality Research. 2015. Т. 9. № 3. С. 467-480.
 22. Smirnova, M.S. Decision making support system in multi-objective issues of quality management in the field of information technology / E.G. Semenova, M.S. Smirnova, V.A. Tushavin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Т. 9. № 12. С. 1078-1081.

Статьи и материалы конференций

23. Смирнова, М.С. Модели негативных несоответствий по показателям качества программных комплексов управления группировкой беспилотных летательных аппаратов / Смирнова М.С. // В книге: Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Международный форум. 2021. С. 407-409.

24. Смирнова, М.С. Ранжирование стратегий улучшения качества программных комплексов управления группировкой беспилотных летательных аппаратов / М.С. Смирнова // В книге: Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Межд. форум. 2021. С. 97-99.
25. Смирнова, М.С. Показатели качества программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов / Ю.А. Антохина, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова, А.С. Тур // В книге: Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Межд. форум. 2020. С. 115-116.
26. Смирнова, М.С. Технологическая система разработки программного обеспечения SCRUM при создании программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов / Я.А. Ивакин, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2019. № 1. С. 48-51.
27. Смирнова, М.С. Сравнение методов ранжирования объектов при решении квалиметрических задач / В.А. Тушавин, М.С. Смирнова // В сборнике: Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем. Сборник докладов научной сессии ГУАП. 2018. С. 163-165.
28. Смирнова, М.С. Качество протекания авиационного пространственного процесса и его динамика / С.В. Мичурин, Я.А. Ивакин, М.С. Смирнова // В сборнике: Proceedings of the International scientific and practical conference. Editor in Chief Dr. Sci., Shatalova T.N., 2016. С. 170-179.
29. Smirnova, M.S. Assessment of the usage efficiency of multi-core processors within processing the problems of discrete optimization in the Microsoft Excel software / Smirnova M.S. // В сборнике: High-Performance And Fault-Tolerant Computing technologies and systems. Proceedings of the International scientific and practical conference. 2016. С. 59-64.
30. Smirnova, M.S. Decision support in selecting alternative innovative projects / E.G. Semenova, S.A. Nazarevich, M.S. Smirnova, V.A. Tushavin // В сборнике: Synergy of science and society in the XXI century. Proceedings of the International scientific and practical conference. 2015. С. 131-138.
31. Smirnova, M.S. Structuration of the requirements to parameters of the technological assembling and mounting complexes / E.G. Semenova, M.S. Smirnova, M.A. Dobroselskii, V.G. Farafonov // В сборнике: Multiparadigmality and interdisciplinary methods in science, education and business-2015. Proceedings of the International scientific and practical conference. Publishing house science and innovation center; Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation; Plekhanov Russian university of economics (Samara institute); Moscow state University of technologies and management K. G. Razumovsky (The First Cossack university); Samara cossack institute of the food industry and business. 2015. С. 17-27.
32. Smirnova, M.S. Primary reorganization of server park in computer network on application of virtual machine technology / M.S. Smirnova, S.V. Michurin // В сб.: ADVANCES IN VIRTUALIZATION TECHNOLOGIES. Proceedings of the International scientific and practical conference. 2015. С. 23-31.

Научно-исследовательские работы

33. Смирнова, М.С. Выполнение составной части научно-исследовательской работы «Комплексный анализ и разработка инструментария реализации целей и задач подпрограммы «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на период до 2025 года»: отчет о НИР / ГУАП: рук. А.Ю. Гулевитский; №216030120070. 2015. 960 с. 40.
34. Смирнова, М.С. Исследование и разработка методов и инструментов управления качеством проектов: отчет о НИР / ГУАП: рук. А.Г. Варжапетян; №02201258800. СПб., 2011. 59 с.
35. Смирнова, М.С. Исследование факторов инновационного развития в рамках концепции экономики качества: отчет о НИР / ГУАП: рук. Г.В. Гетманова; №1.24.19. СПб., 2019. 75 с.

Авторские свидетельства, патенты, информационные карты, алгоритмы

36. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ: «Программный комплекс квалиметрической поддержки SCRUM-процесса разработки прикладного программного обеспечения для систем управления группировками БПЛА (ПК "SCRUM-квалио)» / М.С. Смирнова // рег. № 2021613011
37. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ: «Поддержка выработки рекомендаций по обеспечению качества обособленных компонент программных комплексов управления группировками БПЛА» / М.С. Смирнова // рег. № 2021612935