

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения»

На правах рукописи



Ястребов Виктор Анатольевич

**Метод управления качеством разработки программных комплексов
обработки и передачи данных**

05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени

кандидата технических наук

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

Санкт-Петербург – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	12
1.1 Состояние и перспективы развития программных комплексов обработки и передачи данных	12
1.2 Анализ базовых подходов по управлению качеством разработки программных комплексов	29
1.3 Анализ процессов жизненного цикла программных средств	39
1.4 Конкретизация целей и постановка задач исследования.....	44
1.5 Выводы по разделу 1	47
2. КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	49
2.1 Анализ методов управления качеством обработки и передачи данных	49
2.2 Разработка модели обеспечения качества функционирования программных комплексов обработки и передачи данных	58
2.3 Разработка модели процесса разработки программных комплексов обработки и передачи данных	71
2.4 Выводы по разделу 2	78
3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ..	80
3.1 Базовые принципы восстановления визуальных данных в программных комплексах.....	80
3.2 Разработка алгоритмов восстановления, использующих разреженное представление данных.....	88

3.3 Влияние процесса разработки на качество программных комплексов.....	99
3.4 Разработка метода тестирования для снижения рисков при разработке программных комплексов	102
3.5 Выводы по разделу 3	113
4. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	115
4.1 Квалиметрические методы управления качеством процесса разработки программных комплексов	115
4.2 Управление качеством визуальных данных в инфотелекоммуникационных системах	121
4.3 Процедура расчета комплексного показателя, характеризующего качество процесса разработки программных комплексов	142
4.4 Выводы по разделу 4	145
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	147
СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	149
Библиографический список.....	150
ПРИЛОЖЕНИЕ А	163
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	165
ПРИЛОЖЕНИЕ В	177

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В рамках развития передовых инфотелекоммуникационных технологий качество обработки и передачи данных является одним из важнейших показателей успешной деятельности автоматизированных комплексных систем управления производством, определяющих в конечном итоге конкурентоспособность государства в целом.

Развитие автоматизированных производственных систем с использованием глобальных информационных сетей привело к становлению новых методов информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) разнообразных инфотелекоммуникационных систем, результативность применения которых во многом основывается на разработке программных комплексов обработки и передачи данных (ПКОПД), обеспечивающих необходимый уровень качества функционирования, отвечающего поставленным требованиям.

В Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 года отмечается недостаточный уровень качества и темпов инновационного развития страны. Конкурентоспособность России во многом связана с уровнем развития отечественных информационных технологий. Так, в соответствии со «Стратегией развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года» [55] в рамках приоритетных направлений исследований и разработок в области информационных технологий предусматривается разработка новых способов хранения, обработки и передачи данных, а также протоколов сетевого взаимодействия. Актуальность этих задач определяется их соответствием таким критическим технологиям Российской Федерации как “Технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем”, “Технологии информационных, управляющих, навигационных систем”, а также “Технологии доступа к широкополосным мультимедийным услугам”. В Указе Президента “О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на

2017-2030 годы” [68] от 9 мая 2017 года отмечается особая роль повышения конкурентоспособности Российских информационных и коммуникационных технологий на международном уровне. Кроме того, особую значимость имеет реализация программы “Цифровая экономика Российской Федерации”, утверждённая Постановлением Правительства России 28 июля 2017 года, в которой среди основных целей выделена необходимость развития сетей передачи данных с учетом технических требований, предъявляемых цифровыми технологиями.

Таким образом, научная задача, направленная на развитие методов разработки ПКОПД с целью повышения их результативности с учетом выдвигаемых требований к качеству обработки и передачи данных со стороны потребителей и других заинтересованных сторон, является актуальной.

Степень разработанности научной проблемы. Вопросы теории, методологии и практики управления качеством обработки данных рассматриваются во многих работах отечественных и зарубежных ученых.

В решение задач, связанных с этой проблемой, внесли существенный научный вклад Е.Г. Семенова, А.Г. Варжапетян, Б.В. Бойцов, А.С. Васильев, Л.В. Черненькая, Н.Н. Рожков, Г.Г. Азгальдов. Необходимо отметить ставшие уже классическими в управлении качеством работы таких ученых, как Э. Деминг, А.У. Шухарт, К. Ишикава, Д. Джуран и ряда других.

С развитием и усложнением программных средств и информационных систем, на первый план вышли задачи оценки и улучшения качества программных комплексов. Проблемам управления процессом разработки программных комплексов и управления ИТ-услугами посвящены исследования Ф. Брукса, У. Хэмфри, Т. ДеМарко, Б. Бозма, Ф. Кратчена, М. Полка, М. Мюллера, Т. Фелманна, С. Кана и других видных ученых. Среди авторов работ из России и стран СНГ можно выделить В.А. Липатникова, Я. А. Ивакина, В.В. Липаева, Р. М. Юсупова и др.

Значительный вклад в рассмотрении данных задач внесли такие организации, как ISO, Microsoft, Oracle и др.

Вместе с тем, анализ отечественных и зарубежных научных работ показал, что в них недостаточно полно рассмотрены вопросы разработки ПКОПД, отвечающих таким важнейшим критериям, как функциональные возможности, надежность, результативность и др. Кроме того, не в полной мере исследованы теоретические и практические проблемы оценки качества процессов обработки и передачи данных.

В настоящее время имеется серьезное противоречие между потребностью в использовании современного научно-обоснованного инструментария оценки и улучшения качества процесса разработки ПКОПД и реально существующими методами обеспечения результативности его проектирования и разработки. Помимо этого, существует ряд недостаточно разработанных теоретических и практических вопросов, относящихся к числу задач обработки и передачи данных в сетях связи. Требуется дальнейшей проработки проблема, связанная с большим числом контролируемых параметров качества ПКОПД и ограниченными физическими возможностями их непосредственного контроля со стороны разработчиков. Все это приводит к низкой эффективности процессов реализации и поддержки их ЖЦ, в особенности на этапе разработки.

Значимость проблем в области качества обработки и передачи данных, а также не в полной мере изученная совокупность задач, относящаяся к данной научной сфере, определили выбор темы, цели и задачи диссертационной работы.

Цель диссертационного исследования заключается в обеспечении качества процесса разработки ПКОПД на основе создания научно-методического инструментария повышения их результативности с учетом выдвигаемых требований к качеству обработки и передачи данных со стороны потребителей и других заинтересованных сторон.

Для достижения поставленной задачи необходимо разработать метод управления качеством разработки ПКОПД, учитывающий условия его эксплуатации и особенности ЖЦ, а также обеспечивающий минимизацию

рисков за счет сокращения времени тестирования и отладки программного модуля при внедрении ISO 9001:2015.

Для достижения сформулированной цели в работе поставлены и решены следующие частные **задачи** исследования:

- формирование комплексной модели разработки ПКОПД, состоящей из модели качества функционирования с определением требований к модели разработки и модели процесса разработки ПКОПД;
- разработка метода обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД;
- разработка методики управления качеством объектов визуальных данных с учетом потребностей пользователей ПКОПД;
- разработка формализованной процедуры оценки и обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД.

Объектом исследования является процесс разработки ПКОПД.

Предметом исследования является управление результативностью процесса разработки ПКОПД.

Методами исследований диссертационной работы являются: методы сравнения, систематизации, группировки, обобщения экспертных оценок, статистики объектов данных, многокритериального выбора оптимального решения, статистические методы, методы построения и анализа многофакторных процессов.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационного исследования состоят в использовании авторитетных научных разработок в области управления качеством научной сферы, опубликованных в печати, определяется корректностью применения математических моделей, инструментов и методов оценки качества, а также опубликованных автором основных результатов диссертационной работы в рецензируемых научных журналах.

Тематика работы соответствует содержанию следующих областей исследования паспорта специальности 05.02.23 - Стандартизация и управление

качеством продукции: 1) методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики качества объектов; 3) методы стандартизации и менеджмента (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование) качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции 5) методы стандартизации и управления качеством в САПС-технологиях и автоматизированных производственных системах; 9) научные основы автоматизированных комплексных систем управления эффективностью производства и качеством работ на базе стандартизации.

Основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Комплексная модель разработки ПКОПД.
 - 1.1. Модель качества функционирования ПКОПД;
 - 1.2. Модель процесса разработки ПКОПД.
2. Метод обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД.
3. Научно-технические предложения по практической реализации метода обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД.
 - 3.1. Методика управления качеством объектов визуальных данных с учетом потребностей пользователей ПКОПД;
 - 3.2. Формализованная процедура оценки и обеспечения качества процесса разработки ПКОПД.

Научной новизной обладают следующие результаты исследования:

- комплексная модель разработки ПКОПД, включающая в себя модель качества функционирования ПКОПД и модель процесса разработки ПКОПД, основанная на процессном подходе и отличающаяся многокритериальностью и учетом современных технических требований к процессу разработки ПКОПД;
- метод обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД, отличающийся наличием механизма управления рисками в процессе разработки программных комплексов и обеспечивший требуемый уровень качества выпускаемой продукции;

- научно-технические предложения по практической реализации метода обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД, включающие в себя методику управления качеством объектов визуальных данных и формализованную процедуру оценки и обеспечения качества процесса разработки ПКОПД, которые позволили добиться сокращения времени тестирования и отладки одной типовой компоненты программного комплекса, снизить количество допущенных на этапе его разработки ошибок и уменьшить затраты временных ресурсов, связанных с разработкой и вводом программного комплекса в эксплуатацию.

Практическая значимость полученных научных результатов состоит в следующем:

- комплексная модель разработки программных комплексов и реализованный на ее основе алгоритм управления качеством процесса обработки и передачи данных, а также формализованная процедура оценки и обеспечения качества процесса разработки программных комплексов, учитывающая влияние рисков при реализации проектов, нашли практическое применение при разработке программного обеспечения на предприятии ОАО «НИО ЦИТ «Петрокомета»;
- комплексная модель разработки ПКОПД, метод обеспечения результативности разработки ПКОПД, а также научно-технические предложения по его практической реализации нашли практическое применение при разработке базовых программных решений и проведении ОКР на базе ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН);
- разработан типовой стандарт организации «Комплексная оценка качества разработки программных комплексов», который прошел утверждение и внедрение на предприятии ООО «Финист-софт» и позволил усовершенствовать ряд процессов разработки программных комплексов в рамках СМК предприятия;

- результаты исследований использованы в учебном процессе ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» в дисциплинах «Компьютерные технологии управления качеством» и «Компьютерные технологии в инновационной сфере»,

что подтверждено соответствующими актами о внедрении результатов диссертационного исследования.

Личный вклад автора состоит в непосредственной разработке моделей, метода и научно-технических предложений по его реализации. Основные научные результаты и выводы, содержащиеся в диссертации, получены автором самостоятельно. Соискатель принимал личное участие в апробации и внедрении результатов исследования, а также публикации результатов диссертации.

Апробация результатов исследования. Теоретические и методические результаты диссертационного исследования обсуждались на конференциях, а именно: Всероссийская научная конференция по проблемам информатики «СПИСОК» (Санкт-Петербург, 2013 – 2014 г.), 66-я, 67-я международные научно-технические конференции ГУАП (Санкт-Петербург, 2013-2014 г.), международный симпозиум «Проблемы избыточности в информационных и контролируемых системах» (Санкт-Петербург, 2014 г.), международная конференция «Инновационные информационные технологии» (Прага, 2014 г.), международная конференция «Интеллектуальные интерактивные мультимедиа приложения: системы и сервисы» (Сорренто, 2015 г.), международная научно-практическая конференция «Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий» (Сочи, 2017 г.), международная научно-техническая конференция «Менеджмент качества, транспортная и информационная безопасность, информационные технологии» (Санкт-Петербург, 2017 г.),

Публикации по теме диссертации отражены в **18** публикациях общим объемом 4,4 п.л., в т. ч. авторским объемом 4,1 п. л., в т. ч. **7** статей в журналах, рекомендованных ВАК, **8**-и тезисах докладов и статьях в научных сборниках, 2-

х свидетельствах о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1-ом патенте.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, библиографического списка, содержащего 127 наименований и трех приложений. Основной текст диссертации представлен на 162 страницах, включая 6 таблиц и 47 рисунков. Общий работы объем с учетом приложений составляет 182 страницы.

1. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

1.1 Состояние и перспективы развития программных комплексов обработки и передачи данных

Программные комплексы обработки и передачи данных широко используются в автоматизированных производственных системах различных отраслей и сфер деятельности народного хозяйства страны. Каждая разновидность ПКОПД обладает специфическими особенностями, отражающими прикладные аспекты их применения. Так, в последние годы особую важность приобрело их использование в инфотелекоммуникационных системах, результативность применения которых во многом основывается на разработке ПКОПД, обеспечивающих необходимый уровень качества функционирования и информационной поддержки ЖЦ этих систем, отвечающих поставленным требованиям.

В общем случае ПКОПД обеспечивает передачу и обработку входных данных с целью ее дальнейшего отображения и анализа на стороне потребителей.

В обобщенном виде состав и функциональная структура ПКОПД приведены на рисунке 1.1.

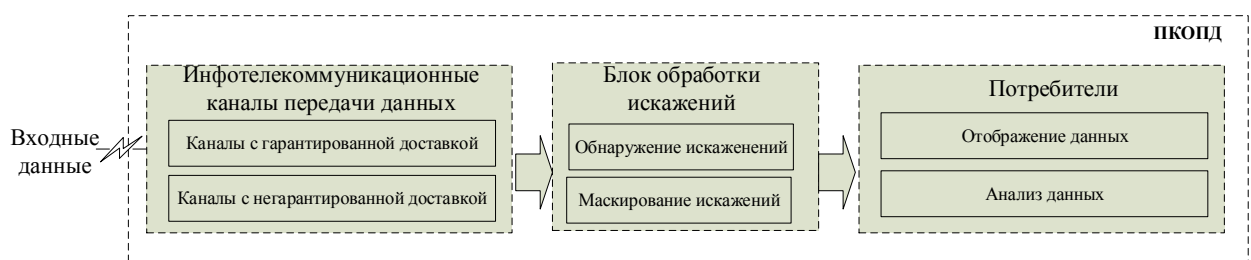


Рисунок 1.1 – Обобщенное представление состава и функциональной структуры типового ПКОПД

В практическом плане все большую важность приобретают вопросы развития современных технологий, обеспечивающих различные способы передачи визуальных данных. Однако, при их практическом рассмотрении

необходимо учитывать совокупность ограничений, связанных с различной топологией современных сетей передачи данных, особенностями их обработки и т.п.

Некоторые каналы передачи не гарантируют доставку данных. В этом случае возникновение ошибок или перегрузок при передаче может привести к искажениям передаваемых данных. В ряде случаев обработка таких искажений производится на приемной стороне, что требует применения алгоритмов восстановления.

По своему содержанию типовой ПКОПД можно рассматривать как совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих программ, согласованных по описанию и форматам входных и выходных данных, позволяющих решать актуальные задачи обработки и передачи данных. С использованием ПКОПД возможно производить сложные процедуры оценки и анализа требуемых данных.

Методологическими принципами создания ПКОПД являются:

- системный подход с охватом всех информационных звеньев, входящих в структуру ПКОПД;
- опережающая разработка базовых моделей по основным видам (формам и способам) деятельности для обеспечения анализа и оценки обрабатываемых данных, поэтапное наращивание функциональных возможностей ПКОПД;
- рациональное использование возможностей технических средств и операционных систем и прочих ресурсов.

ПКОПД должен соответствовать основным функционально-прикладным требованиям, предъявляемым к единой системе моделей и задач, а именно:

- объективность (достоверность) результатов обработки данных и расчетов значимых параметров;
- оперативность получения результатов;

- адаптивность, т. е. способность выполнять заданные функции при различных вариантах входных данных в установленных пределах их изменения;
- удобство практического использования системы.

Таким образом, ПКОПД традиционно разрабатывается с учетом следующих основных требований:

- адекватность разрабатываемых математических моделей (задач, методик) реальным условиям применения;
- минимизация влияния ошибок в каналах передачи данных на качество его функционирования;
- открытость для новых моделей и задач для обеспечения его дальнейшего улучшения и развития.

Состав ПКОПД должен быть достаточным для выполнения всех задач, реализуемых с применением современных информационных технологий, а также располагать средствами для создания и поддержки результативности необходимых процессов, способствующих выполнению требуемых автоматизированных функций.

ПКОПД строится на основе использования технологий существующих операционных систем, систем управления базами данных, а также пакетов прикладных программ, в том числе заимствованных из фондов алгоритмов и программ.

В программном обеспечении комплекса должны быть реализованы меры по защите от ошибок, возникающих в процессе передачи данных, обеспечивающие требуемое качество его функционирования.

Входящее в состав ПКОПД системное программное обеспечение традиционно позволяет: организовывать вычислительный процесс; обеспечивать взаимодействие его составных компонентов с техническими устройствами; реализовывать и управлять приемом и передачей данных по локальным вычислительным сетям и другим каналам связи и обеспечивать их

хранение; осуществлять настройку компонентов прикладного программного обеспечения.

Прикладное программное обеспечение ПКОПД представляет собой совокупность программ, моделей, задач и других компонентов (управляющих, графических, информационных подсистем и т. п.), реализующих специальные функции обработки данных. Все программы, входящие в состав прикладного программного обеспечения, должны быть совместимы между собой.

Системы управления ПКОПД, в свою очередь, должны обеспечивать и традиционно обеспечивают:

- поддержку целостности данных;
- развитой пользовательский интерфейс;
- возможность административного управления;
- взаимодействие с приложениями операционной системы;
- динамический обмен данными;
- экспорт и импорт данных.

Кроме необходимых математических моделей, в составе средств прикладного программного обеспечения должны быть представлены пакеты прикладных программ, представляющие собой комплект информационных, информационно-расчетных и экспертных задач (систем), обеспечивающих поддержку работы пользователей ПКОПД.

Следует указать, что полнота функциональных возможностей ПКОПД определяется характеристиками используемых технических средств. Очевидно, что в современных условиях технические средства различны в своих конкретных реализациях. Однако, возможно сформулировать совокупность системных требований, которым должен удовлетворять процесс разработки ПКОПД для обеспечения его полноценного функционирования.

Выше приведенное описание основных характеристик и требований к современным и перспективным ПКОПД показывает всю сложность и многопараметричность составляющих понятия качества программного

комплекса обработки и передачи данных. Эффективное оценивание и обеспечение качества ПКОПД требует адекватного и развитого научно-методического сопровождения: методов, моделей и методик, соответствующих программных средств и инструментариев.

Таким образом, ПКОПД представляет собой сложную информационно-управляющую систему, качество которой определяется путем многофакторного анализа его характеристик и, в свою очередь, зависит от эффективности проектирования и разработки избранной программной архитектуры комплекса, методов, алгоритмов и подходов к передаче и обработке данных.

С использованием ПКОПД возможно решать задачи, связанные с видео индексированием, классификацией, повышением кадровой скорости и пр.

Видео индексация позволяет решать задачи, касающиеся эффективного поиска, доступа и анализа информации, содержащейся в видео последовательности.

Различают автоматизированную и автоматическую индексацию видеоданных. Автоматизированная индексация проводится человеком, который после просмотра видеозаписи формирует список ключевых слов, описывающих ее содержание. При использовании автоматической индексации непосредственное участие человека не требуется.

В зависимости от назначения и требуемой скорости обработки данных комплексы автоматической видео индексации можно классифицировать следующим образом.

1) Индексация без временных ограничений. При использовании методов этого класса, считается, что существует доступ ко всей видеозаписи. Эти методы могут быть применены в сложных системах видео индексации, применяемых в различных веб приложениях.

2) Индексация в режиме реального времени. При применении методов этого класса, считается, что есть доступ только к определенным частям видеозаписи. Как правило, также имеется доступ к фрагментам видеозаписи, которым в соответствие уже сопоставлен некоторый индекс. Такие методы вычислительно

гораздо более простые по сравнению с методами, не имеющими временных ограничений.

Основной задачей видео обобщения является генерация “оглавления” видеозаписи на основе выделения основных ключевых моментов, содержащихся в ней.

Видео индексация служит для автоматической генерации меток (тегов), а также составления индекса, позволяющего осуществлять эффективный поиск требуемых событий.

Применение этих подходов позволяет генерировать информацию, которая в дальнейшем может быть использована для решения основной задачи видео навигации - создания понятийного представления о содержании видеозаписи.

Типовая структура системы видео индексации представлена на рисунке 1.2. Такая схема была введена в [118]. Она включает в себя несколько блоков:

- блок структурного анализа;
- блок выделения признака;
- блок построения индекса;
- блок обработки запросов пользователей.

Для проведения процедуры видео индексации крайне важно уметь выделять характерные точки на изображении.

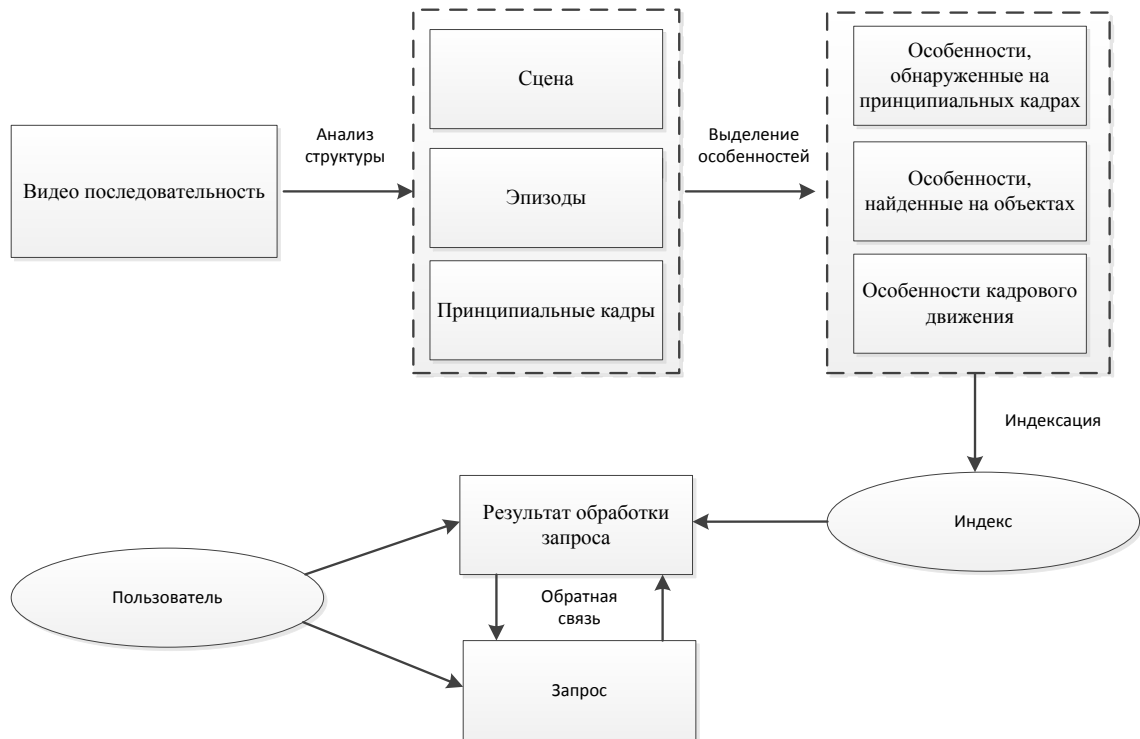


Рисунок 1.2 – Типовая структура комплекса видео индексации

На сегодняшний день SIFT [105] является одним из наиболее результативных дескрипторов ключевых точек. SIFT дескриптор представляет собой 3D пространственную гистограмму градиентов на изображении, которые характеризуют ключевую точку (см. рисунок 1.3). Градиент каждого пикселя рассматривается как трехкомпонентный вектор свойств, который формируется на основе пространственного положения пикселя, а также ориентации его градиента.

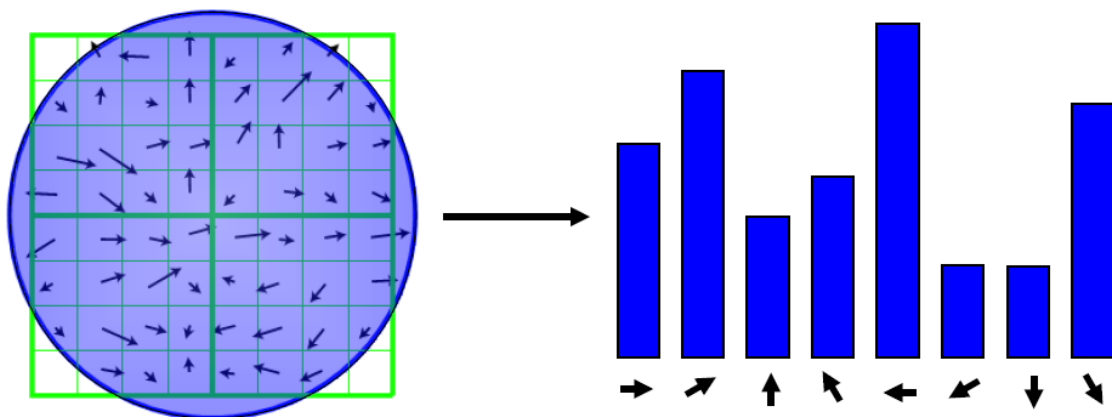


Рисунок 1.3 – Гистограмма градиентов

Рассчитанные градиенты разворачиваются относительно ориентации ключевой точки. Далее на основе функции Гаусса с параметром σ , численно равным половине ширины окна дескриптора рассчитываются весовые коэффициенты для каждого пикселя. Таким образом создается вектор 4×4 , каждый из элементов которого в свою очередь содержит 8 значений ориентации. Таким образом, формируется дескриптор размерности $(4 \times 4 \times 8 = 128)$ элементов для требуемой ключевой точки. Процесс генерации дескриптора приведен на рисунке 1.4.

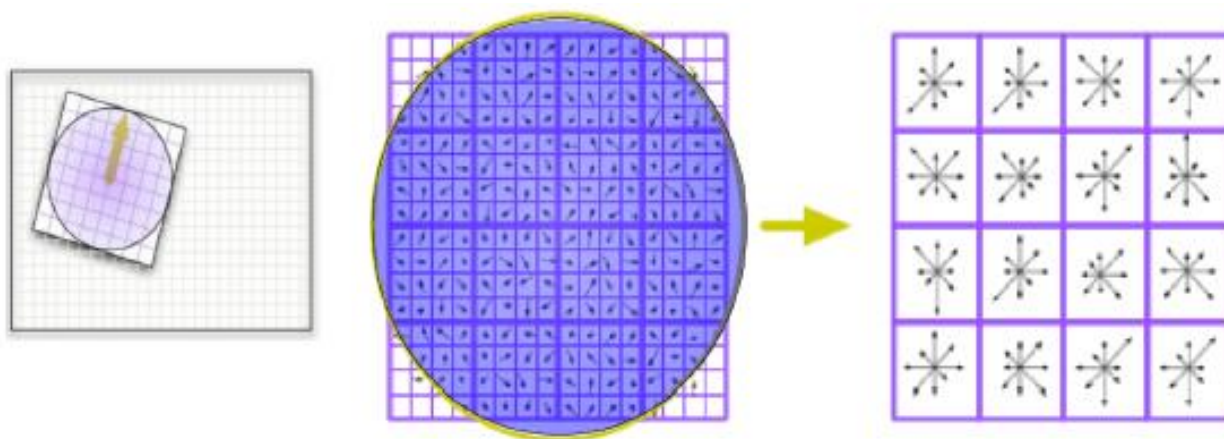


Рисунок 1.4 – Процесс генерации дескриптора ключевой точки

Рассмотрим двумерное полутоновое изображение I . Рассмотрим задачу выделения области изображения (u, v) и ее дальнейшим сдвигом на (x, y) . Сумма квадратов разностей между рассматриваемыми регионами определяется по формуле с учетом весового коэффициента $w(u, v)$:

$$S(x, y) = \sum_u \sum_v w(u, v) (I(u, v) - I(u + x, v + y))^2 \quad (1.1)$$

Выражение $I(u + x, v + y)$ может быть аппроксимировано рядом Тейлора. Обозначим через I_x и I_y частные производными от I , такие что

$$I(u + x, v + y) \approx I(u, v) + I_x(u, v)x + I_y(u, v)y. \quad (1.2)$$

Это можно выразить с помощью следующего приближения:

$$S(x, y) = \sum_u \sum_v w(u, v) (I_x(u, v)x + I_y(u, v)y)^2, \quad (1.3)$$

которое в матричном виде выглядит следующим образом:

$$S(x, y) \approx (x \ y)A \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, \quad (1.4)$$

где A задается в следующем виде:

$$A = \sum_u \sum_v w(u, v) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle I_x^2 \rangle & \langle I_x I_y \rangle \\ \langle I_x I_y \rangle & \langle I_y^2 \rangle \end{bmatrix}. \quad (1.5)$$

A принято называть матрицей Харриса. Угловые скобки выполняют операцию усреднения.

Обозначим через λ_1 и λ_2 собственные числа матрицы A . При различном направлении вектора $(x \ y)$ можно оценить изменение S . Их анализ показывает, что для выражения описанной характеристики собственные числа матрицы A должны обладать большими значениями. На основе их анализа можно сформулировать следующие выводы:

1. При $\lambda_1 \approx 0$ и $\lambda_2 \approx 0$, рассматриваемый пиксель (x, y) не имеет значимой особенности.
2. При $\lambda_1 \approx 0$ и λ_2 , имеющей некоторое большое положительное значение, можно сделать вывод об обнаружении границы.
3. Если λ_1 и λ_2 большие положительные значения, то угол найден, а значит и характерная точка тоже.

Положение в пространстве определяется углом поворота между осью 0-х и главной осью эллипса, вписанного в описывающий регион прямоугольник (см. рисунок 1.5).

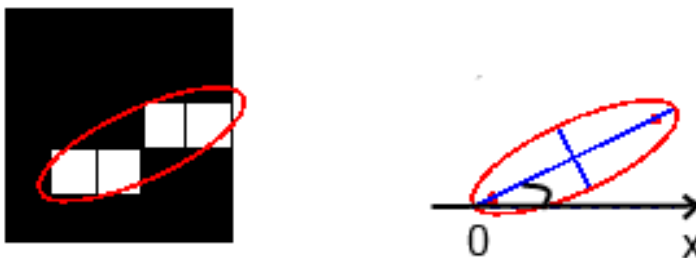


Рисунок 1.5 – Методика расчёта положения связанной компоненты в пространстве

Существует ряд методов, решающих задачу классификации:

- шаблонные;

- признаковые.

Рассмотрим достоинства и недостатки существующих методов.

В шаблонном классификаторе выбор шаблона из базы осуществляется по критерию похожести. Одним из возможных критериев может являться расчёт коэффициента корреляции:

$$K_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 * \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (1.6)$$

где X_i – i -ый элемент выборки X ;

Y_i – i -ый элемент выборки Y ;

\bar{X} – среднее значение выборки X ;

\bar{Y} – среднее значение выборки Y ;

n – количество элементов в выборке.

К достоинствам такого классификатора можно отнести хорошее распознавание дефектных объектов и высокую скорость распознавания.

Работа признакового классификатора основана на анализе совокупности признаков, которые можно вычислить по изображению. В результате можно осуществить распознавание путем анализа производных от него характеристик.

Основное назначение блока принятия решения заключается в адаптации алгоритмов поиска и распознавания на изображениях к обработке набора кадров, принцип работы которого отображен на рисунке 1.6.

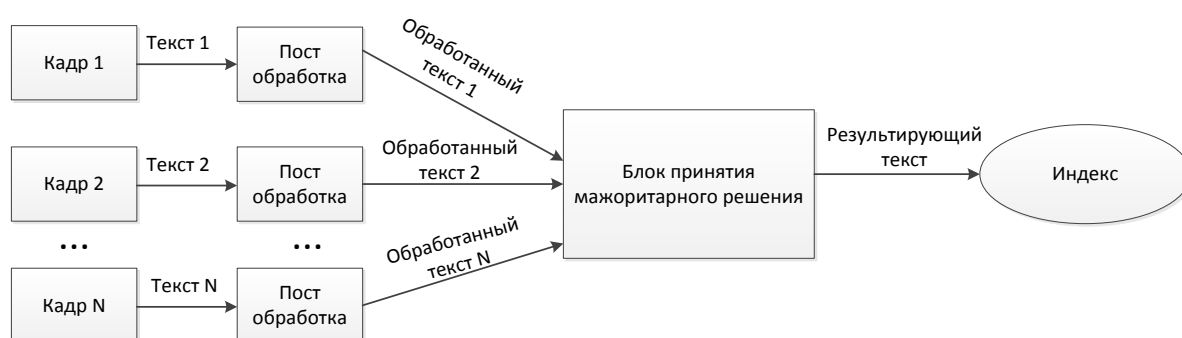


Рисунок 1.6 – Принцип работы блока принятия мажоритарного решения

Таким образом, принцип работы рассмотренного блока заключается в

использовании избыточности, возникающей при обработке последовательности кадров, содержащих одну и ту же информацию, что может способствовать достижению более качественного распознавания с использованием ПКОПД.

Другой немаловажной задачей, связанной с обработкой видео данных, является повышение кадровой скорости. В типовом комплексе повышения кадровой скорости можно выделить следующие основные шаги:

- детектирование смены сцены;
- обработка статических регионов;
- иерархическая оценка движения;
- обнаружение искажений и их устранение;
- обработка статичных регионов.

Блок детектирования смены сцены позволяет определить следует ли производить интерполяцию или же достаточно повторить предыдущий базовый кадр. Существует несколько подходов к построению алгоритмов детектирования смены сцены. На сегодняшний день метод, основанный на анализе гистограмм [93], является одним из наиболее эффективных. В обобщенном виде его можно представить следующим образом.

1. Расчет гистограмм интенсивностей для базовых кадров.

$$Hist^k = \{h_0^k, h_1^k, h_2^k, \dots, h_{255}^k\}, \quad (1.7)$$

где h_i^k количество пикселей в кадре у которых значение яркостной компоненты равно i : $h_i^k = \frac{|\{Y_{x,y} : Y_{x,y} = i\}|}{W * H}$; k - идентификатор базового кадра ($k = t$ для текущего базового кадра и $k = t + 1$ для следующего), W и H - соответственно, ширина и высота анализируемого кадра.

2. Нахождение среднего значения абсолютных разностей между соответствующими столбиками гистограмм:

$$meanD = \sum_i |h_i^t - h_i^{t+1}|. \quad (1.8)$$

3. В случае если $meanD$ превышает заданный заранее определенный порог, то предполагается что кадры t и $t + 1$ относятся к разным сценам.

Обработка статических регионов производится для повышения качества восстановления статических пикселей кадров. Результат обработки такой обработки можно представить в виде карты M , которая содержит позиции обнаруженных статичных пикселей:

$$M = \{m_{i,j}\}, i = \overline{1, H}, j = \overline{1, W}, \quad (1.9)$$

где W и H соответственно ширина и высота базовых кадров; значение $m_{i,j}$ равное 1 указывает, что пиксель на позиции (i,j) является статичным, значение 0 – указывает об обратном.

Как правило, обработка производится независимо для каждой компоненты. Типовой алгоритм можно представить следующим образом:

1. Выполнения квантования обрабатываемых данных

$$C_{i,j}^k = Q * \text{round}\left(\frac{C_{i,j}^k}{Q}\right), \quad (1.10)$$

где $C_{i,j}^k$ - проквантованное значение, Q - параметр алгоритма, k порядковый номер обрабатываемой компоненты, $i = \overline{1, H}$, $j = \overline{1, W}$.

2. Расчет бинарных карт пикселей, формирующих контуры, как правило, производится с применением оператора Собеля. Бинаризация осуществляется с использованием настраиваемого порога $thrEdge$

$$EdgeC_{i,j}^k = \left(\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 C_{i+m,j+n}^k * S_{m+1,n+1}^H \right)^2 + \left(\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 C_{i+m,j+n}^k * S_{m+1,n+1}^V \right)^2, \quad (1.11)$$

$$EdgeC_{i,j}^k = \begin{cases} 1, & EdgeC_{i,j}^k \geq thrEdge \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (1.12)$$

где S^H и S^V - вертикальная и горизонтальная компонента фильтра Собеля;

$$S^H = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix}, S^V = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix}. \quad (1.13)$$

3. Вывод решения на основе анализа обнаруженных контуров

$$ED_{i,j} = Edge_{i,j}^1 \wedge Edge_{i,j}^3, \quad (1.14)$$

где \wedge - оператор конъюнкции.

4. Расчет бинарного остаточного множества $RD_{i,j}$

$$RD_{i,j} = |C_{i,j}^1 - C_{i,j}^3|, \quad (1.15)$$

$$RD_{i,j} = \begin{cases} 1, & RD_{i,j} < thrDiff \\ 0, & иначе \end{cases}, \quad (1.16)$$

где $thrDiff$ - параметр алгоритма.

5. Покомпонентное объединение множества контуров и остаточного множества

$$PD_{i,j} = RD_{i,j} \wedge ED_{i,j}, \quad (1.17)$$

$$PD_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 PD_{i+m,j+n} \geq 5 \\ 0, & иначе \end{cases}, \quad (1.18)$$

число “5” является порогом для типового фильтра размера 3x3.

После построения статичных карт для каждой из компонент изображения производится формирование единой комбинированной карты:

$$map_{i,j} = map_{i,j}^Y \wedge map_{i,j}^{Cb} \wedge map_{i,j}^{Cr} \wedge RD_{i,j}^Y \wedge RD_{i,j}^{Cb} \wedge RD_{i,j}^{Cr}, \quad (1.19)$$

где RD^C остаточное множество для компоненты C .

Этап оценки движения, как правило, основан на иерархической оценке движения. Блочные алгоритмы оценки движения наиболее часто применяются в задачах оценки движения в видеопоследовательности, из-за простоты в реализации и высокой вычислительной эффективности [56].

Общую схему работы алгоритма по нахождению векторов движения в кадре можно описать следующим образом:

- 1) разбиение текущего кадра на блоки;
- 2) для каждого блока из текущего кадра выполняется поиск наиболее похожего блока из предыдущего кадра видеопоследовательностью.

Разность между координатами блока из текущего кадра и найденного блока из предыдущего называется вектором движения для текущего блока.

Алгоритм нахождения блока из предыдущего кадра путём полного перебора в заданном радиусе позволяет найти наиболее похожий блок в

зависимости от применяемой метрики (SAD или SSD) (рисунок 1.7). При этом гарантированно обеспечивается лучший блок по применяемой метрике сравнения, потому что осуществляется перебор по всем возможным блокам из предыдущего кадра.

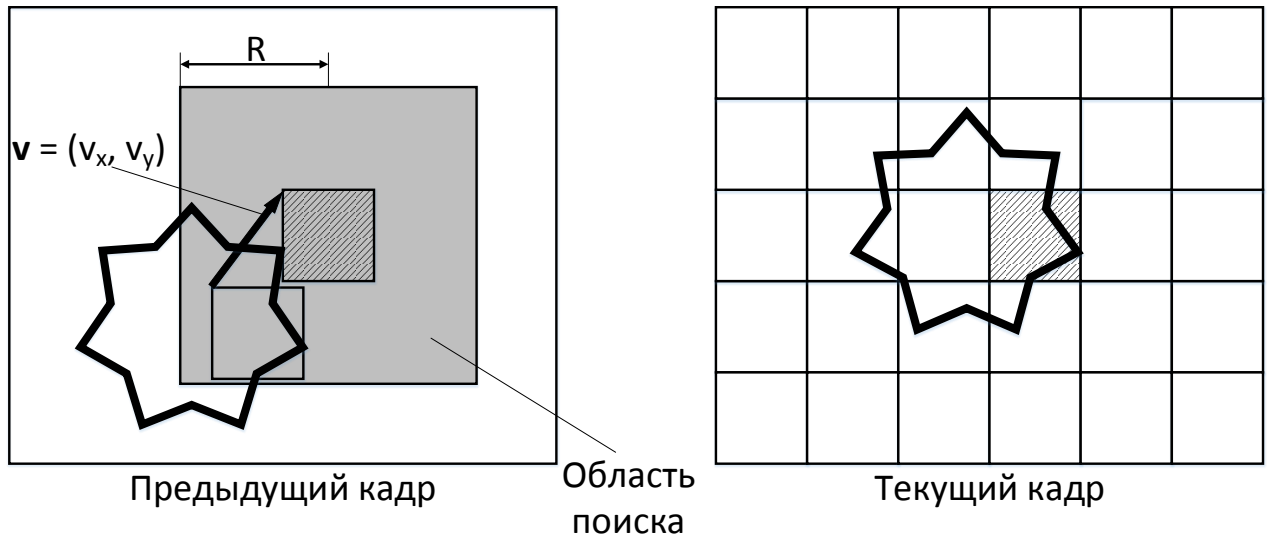


Рисунок 1.7 – Поиск вектора движения методом полного перебора

Найденный вектор движения $V = (v_x, v_y)$ задаётся как разность между координатами текущего обрабатываемого блока и найденного блока. Здесь v_x и v_y смещение по горизонтали и вертикали, соответственно.

Для оценки движения может быть также использован шаблонный поиск. Шаблон - это некоторый заранее определённый набор координат точек, координаты которых начинаются в середине шаблона (рисунок 1.8). Таким образом, для любой точки на изображении с использованием шаблона можно получить координаты всех точек, заданных по шаблону [42].

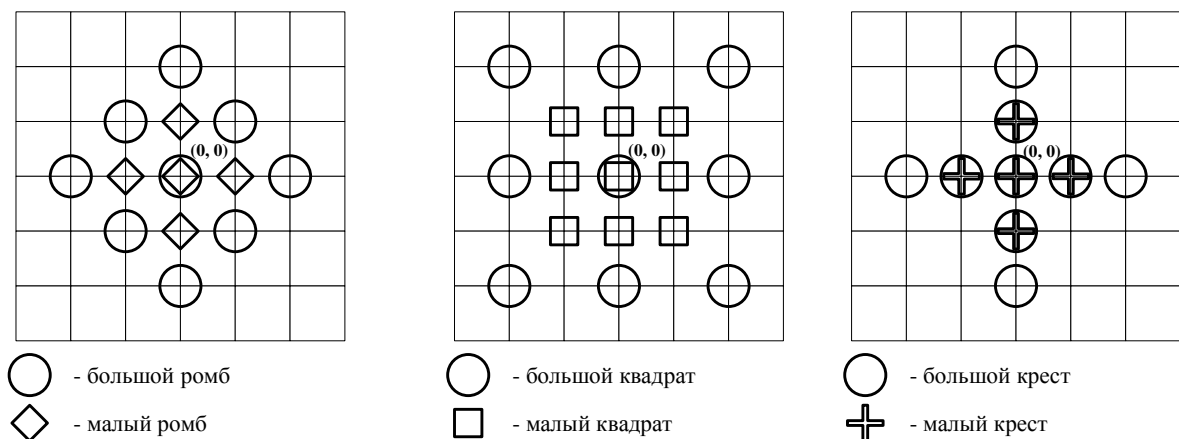


Рисунок 1.8 – Примеры шаблонов

Поиск вектора для блока в данном алгоритме является итеративным процессом. На первой итерации алгоритма координаты центра шаблона имеют координаты $(0, 0)$ относительно центра поиска [116]. На каждой итерации выполняется последовательность действий:

- 1) начальные координаты подстановки шаблона равны координатам макроблока из текущего кадра, для которого производится поиск;
- 2) по координатам блока (координаты левого верхнего пикселя в блоке) подставляется шаблон, по которому строятся координаты блоков-кандидатов;
- 3) для каждого макроблока-кандидата вычисляется функция соответствия;
- 4) центр шаблона смещается в точку с координатами, для которой функция соответствия была минимальна;
- 5) проверка условий останова алгоритма.

Данный алгоритм позволяет значительно сократить перебор векторов движения за счёт использования шаблонов, что увеличивает его скорость работы. Предоставляет гибкие возможности для поиска, так как можно подобрать шаблон, который будет оптимален для различных параметров движения в кадре (например, скорость или направление движения) [96]. Из недостатков стоит отметить, что выбираемые точки с наименьшим значением метрики сравнения блоков могут являться локальными минимумами, а не глобальными.

При использовании логарифмического поиска перед началом работы алгоритма выбирается радиус поиска R – расстояние для построения точек, по которым вычисляется функция соответствия.

На каждом шаге алгоритма выбирается точка с координатами блока-кандидата имеющим наименьшее значением функции соответствия, которая на следующем шаге алгоритма становится центром поиска для следующей итерации. Если блок с минимальным значением функции соответствия оказался центральным, то радиус поиска R уменьшается в два раза.

На каждом шаге алгоритма проверяется условие останова алгоритма. Поиск продолжается пока радиус поиска R больше или равен 1.

Пример логарифмического поиска показан на рисунке 1.9.

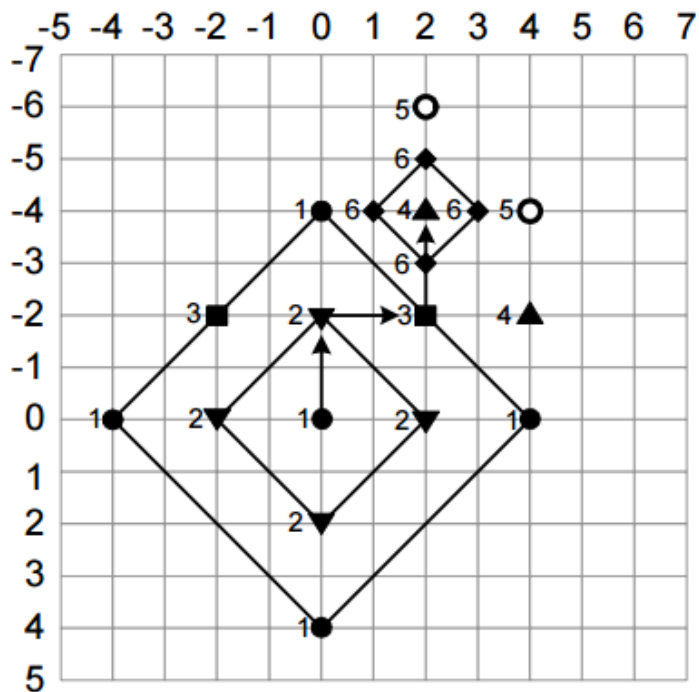


Рисунок 1.9 – Логарифмический поиск [4]

На представленном рисунке цифрами обозначен шаг, на котором происходит сравнение блоков. Каждый блок обозначен на рисунке различными геометрическими фигурами для каждого шага алгоритма.

После завершения процедуры оценки движения проводится процедура компенсации движения с целью интерполяции требуемого кадра. Иногда для повышения качества интерполяции используется подход, основанный на применении пересекающихся блоков (OBMC - Overlapped block motion compensation).

Основной целью OBMC [77] подхода является снижение искажений на границах блоков для того, чтобы визуально повысить качество интерполируемых данных. Схематично это отображено в рисунках 1.10 и 1.11.

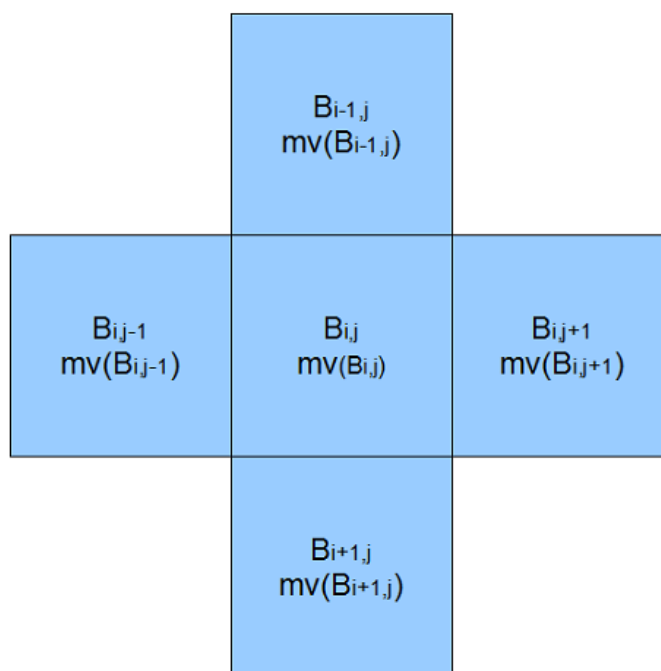


Рисунок 1.10 – Блоки и вектора движения при использовании ОВМС подхода

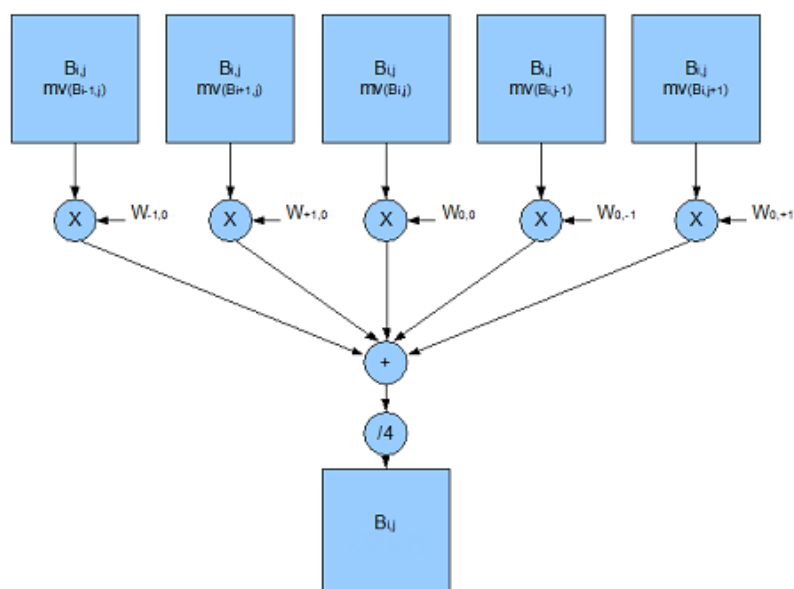


Рисунок 1.11 – Обработка с помощью ОВМС подхода (для режима 4x4)

Интерполируемый блок $B_{i,j}$ рассчитывается с использованием следующей формулы:

$$\begin{aligned}
 F_{t+0.5}(X(B_{i,j})+k, Y(B_{i,j})+l) = & C \sum_{m \in P} \sum_{n \in P} W_{m,n}(k,l) * \\
 & (0.5 * F_t[X(B_{i,j})+k + mv_x(B_{i+m,j+n}), Y(B_{i,j})+l + mv_y(B_{i+m,j+n})]) + \\
 & 0.5 * F_t[X(B_{i,j})+k - mv_x(B_{i+m,j+n}), Y(B_{i,j})+l - mv_y(B_{i+m,j+n})])
 \end{aligned} \tag{1.20}$$

где $P = \{-1, 0, 1\}$; $k, l \in \{0, 1, \dots, N-1\}$; $w_{m,n}$ - матрицы, содержащие коэффициенты, C - нормирующий коэффициент.

При использовании ОБМС 4×4 $C = 0.25$ матрицы коэффициентов можно представить следующим образом:

$$W_{0,0} = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}, W_{-1,0} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, W_{0,1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, W_{1,0} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 1 \end{pmatrix},$$

$$W_{0,-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Остальные матрицы заполняются нулями.

При использовании ОБМС 8×8 $C = 0.125$ матрицы коэффициентов можно представить следующим образом:

$$W_{0,0} = \begin{pmatrix} 4 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 4 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 5 & 5 & 6 & 6 & 6 & 6 & 5 & 5 \\ 5 & 5 & 6 & 6 & 6 & 6 & 5 & 5 \\ 5 & 5 & 6 & 6 & 6 & 6 & 5 & 5 \\ 5 & 5 & 6 & 6 & 6 & 6 & 5 & 5 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 4 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 4 \end{pmatrix}, W_{-1,0} = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, W_{0,1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 \end{pmatrix},$$

$$W_{1,0} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}, W_{0,-1} = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Остальные матрицы заполняются нулями.

1.2 Анализ базовых подходов по управлению качеством разработки программных комплексов

Повышение качества разработки технической продукции и, в частности, ПКОПД, является одной из важнейших проблем развития современных

предприятий, что обусловлено требованиями инновационной экономики, а также запросами личности и общества в части непрерывного роста конкурентоспособности продукции и, в частности, развития перспективных информационных систем [62].

В условиях глобализации мирового рынка и активного развития международной торговли при разработке ПКОПД все большую важность приобретает концептуальный подход, предусматривающий всемерное применение международных стандартов. В указанном плане особую роль играют международные стандарты ISO 9000, первая версия которых по системному управлению качеством продукции была создана в 1987 г. [58].

За более, чем 30-летний период использования данные стандарты получили всемирное признание и, вместе с тем, претерпели значительные изменения. Так, в частности, в новой версии стандарта ISO 9001:2015, введенной в России ГОСТ Р ИСО 9001-2015, в отличие от предыдущей версии 2008 года более четко сформулирована стратегия менеджмента с вовлечением высшего руководства (в части требований к ответственности высшего руководства), усилен процессный подход, осуществлено внедрение риск-ориентированного мышления (действий в отношении рисков и возможностей), уделено большее внимание мониторингу показателей результативности, а также веден ряд других изменений.

Управление качеством разработки технической продукции предприятия во многом определяется документами системы менеджмента качества, созданной и действующей в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001 [11, 54]. СМК благодаря своей структуре и содержанию обеспечивает соответствие продукции требованиям технического задания заказчика и условиям контракта на всех стадиях ее жизненного цикла.

Функционирование эффективной СМК предприятий, осуществляющих разработку продукции, обладающей соответствующим уровнем качества, основано на создании, внедрении и поддержании в рабочем состоянии

комплекса нормативных документов, отвечающих по содержанию и составу требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015.

Содержание понятия качества продукции представлено во многих работах отечественных авторов [43, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 57, 63].

Исследование работ таких признанных во всем мире специалистов в области качества, как Дж. Джуран, Э. Деминг, К. Исикава, А. Фейгенбаум, В. Шухарт и др., позволяет систематизировать следующие основные признаки категории качества: направленность на запросы потребителей, изменчивость, многомерность, соответствие предъявляемым требованиям и ряд др.

Большая часть перечисленных признаков нашла отражение в различных версиях международных стандартов, формирующих требования к системам менеджмента качества на предприятиях.

В новой версии стандарта ГОСТ Р ИСО 9000 : 2015 [12] качество определено, как степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям. При этом объектом могут являться как продукция или услуга, так и процесс, система или ресурс.

По утверждению ряда авторов [49], опыт работы многочисленных предприятий в современных рыночных условиях показывает, что до 70% значимости всех показателей конкурентоспособности создаваемой продукции составляет качество. Авторы особо отмечают, что сегодня выполнение требований СМК при разработке продукции является основой успешного управления качеством ее создания.

Так, Р.А. Дурнев, И.В. Жданенко [43] обращают особое внимание на том, что в настоящее время заказчиками предъявляются высокие требования к качеству достигнутых результатов при разработке продукции. При этом показателями качества могут являться оперативные возможности, массовость и эффект от внедрения продукции. Авторы отмечают, что в настоящее время качество продукции представляет собой комплексное, многосоставное понятие, оценить которое возможно по различным показателям, таким как: достоверность, практическая и научная новизна.

Авторы также акцентируют внимание на том, что процесс разработки продукции становится системным только тогда, когда конкурентоспособность продукции определяется не только техническими параметрами и характеристиками создаваемого продукта, но и рядом других вспомогательных факторов, для чего на предприятии должна быть обеспечена гармонизация требований ГОСТ Р ИСО 9000 и стандартов предприятия, исходя из специфики выполняемых проектов.

Авторы С.Н. Ларин и Н.А. Соколов [50] особо подчеркивают, что производственная деятельность предприятий и процессы управления качеством и эффективностью ее результатов, характеризуется набором определенных показателей. Так, эффективность производственного процесса в значительной степени определяется следующими составляющими:

$$Э_n = f(K_o., K_m., K_n.), \quad (1.21)$$

где $K_o.$ – качество применяемого на предприятии оборудования;

$K_m.$ – качество используемых технологии;

K_n – качество научного обеспечения проектной деятельности.

В.А. Мирончук [51] к числу качественных критериев оценки предприятий относит динамику их развития и результативность научно-технических проектов, а также определяет многофункциональный характер деятельности по разработке новой продукции.

Современный этап развития предприятий характеризуется сближением подходов к общему менеджменту и менеджменту качества, в рамках которого активно реализуется системный подход, направленный на создание универсальной модели управления качеством на предприятии на основе международной стандартизации.

При разработке ПКОПД важно осуществлять системный подход к управлению качеством, который реализуется на основе следующих основных компонентов:

- 1) четкое определение целей, связанных с процессом разработки;

2) рассмотрение совокупности задач, охватывающих все стадии жизненного цикла ПКОПД;

3) непрерывность, обеспечивающая реализацию процесса управления качеством разработки ПКОПД, ориентированного на его постоянное улучшение;

4) объективность, ориентирующая предприятия на использование адекватных методов управления качеством разработки ПКОПД;

5) результативность и эффективность процессов разработки ПКОПД.

Особую значимость для развития предприятий, осуществляющих разработку ПКОПД, представляет активное использование концепции TQM, направленной на успешную реализацию процессов, направленных на непрерывное и всемерное улучшение результатов деятельности предприятия, используя для этих целей совместные усилия всех работников предприятия, начиная от руководящего звена до рядовых сотрудников. Принципы TQM, автором которых является Э. Деминг, в настоящее время достаточно точно определены. На них основывается и последняя версия стандартов ИСО 9000. В целом TQM становится неотъемлемой частью общего менеджмента и его функциональных задач, то есть все большее развитие приобретает ориентация на «управление на основе качества» (Management by Quality). В этой связи особый интерес представляют передовые исследования, посвященные TQM и охватывающие широкий круг проблем, важнейшими из которых является анализ стратегической роли качества, обеспечивающей повышение конкурентоспособности организации и повышение эффективности ее деятельности.

Значительная часть рабочих процессов предприятия, связанных с разработкой продукции, включает в себя совокупность функций, обеспечивающих необходимое взаимодействие различных подразделений. Обмен информацией между ними в ряде случаев чрезмерно усложнен из-за иерархически сложной структуры, что приводит к неоправданно длительным срокам выработки управленческих решений. В указанном плане важнейшую

роль в обеспечении эффективных процессов разработки ПКОПД играет реализация процессного подхода, получившего дальнейшее развитие в ISO 9000:2015.

При осуществлении данного подхода особое внимание следует уделять горизонтальным связям между функциональными подразделениями, которые подчас наиболее слабы и представляют серьезную опасность для устойчивости организации, а также достижению последовательных и прогнозируемых результатов при управлении разработкой программных комплексов как совокупностью взаимосвязанных и взаимодействующих процессов. При этом в каждом конкретном случае при разработке ПКОПД необходимо сосредоточить усилия на реализации ключевых процессов и оценке возможностей их улучшений, определять взаимозависимость процессов и проводить анализ влияния изменений каждого наиболее значимого процесса на программный комплекс в целом. Особое внимание необходимо уделять анализу входов и результатов процессов, как их главных характеристик.

Существенное влияние на улучшение качества процессов разработки ПКОПД, включая мониторинг, анализ и проведение оценки достигаемых результатов, оказывает реальная доступность информации, необходимой для реализации успешных проектов [32].

Проведенный анализ показывает, что, применительно к процессам разработки ПКОПД, требуется последовательно осуществлять совокупность задач, связанных с управлением качеством реализуемых проектов, а также с формированием моделей управления и обеспечения результативности проектных решений.

Понятие качества разработки продукции следует рассматривать, как качество результатов разработки, и как качество процессов этой деятельности. Важно отметить, что качество продукции, с одной стороны, отражает степень удовлетворенности заинтересованных сторон и, в первую очередь, потребителей, а с другой стороны, качество продукции – это соответствующая

характеристика самого объекта, т.е. результата и процесса проектной деятельности.

С указанных выше позиций следует рассматривать и совокупность понятий качества таких объектов, как ПКОПД. От качества процессов разработки данной продукции, являющейся носителем специфических свойств, в значительной степени зависят результаты деятельности многочисленных заинтересованных сторон, к числу которых относятся разнообразные коммерческие и некоммерческие предприятия и организации.

Качество продукта в целом, как правило, оценивается с помощью совокупности частных показателей, которые могут иметь качественную и количественную оценку, и разновидность которых определяется спецификой использования рассматриваемого объекта. Качество ПКОПД, с одной стороны, включает в себя научно-технический уровень самого продукта, а с другой – определяется качеством процессов его разработки. Научно-технический уровень, как известно, включает в себя такие характеристики, как функциональность, надежность, производительность, технологичность и ряд других параметров, характеризующих технические стороны рассматриваемого продукта.

Применительно к задачам управления качеством продукции используется достаточно широкий круг разнообразных моделей. Как известно в наиболее часто используемой является модель системы СМК, соответствующая ISO 9000:2015. При этом мотивы разработки и использования СМК определяются совокупностью как внешних, так и внутренних факторов.

Внешние факторы, связанные с формированием на предприятии сертифицированной СМК, определяются, прежде всего, возникающей у него расширенной возможностью участвовать в разнообразных конкурсах и тендерах, а также лицензировать определенные виды деятельности, в частности, для осуществления разработки и производства оборонной продукции [13].

Внутренние факторы связаны с совершенствованием системы управления предприятием и концентрацией усилий в области обеспечения качества и конкурентоспособности продукции.

В настоящее время одной из актуальных категорий теории качества является понятие рисков, анализ и рассмотрение которых закреплено в ГОСТ Р ИСО 9001-2015 как обязательное требование.

Риски сопровождают деятельность любого предприятия, осуществляющего разработку продукции. Актуальность управления рисками для обеспечения качества проектов определяется тем, что управление рисками и формирование риск-ориентированного мышления становятся значимыми элементами СМК.

Стандартом предусмотрено, что использование различных вариантов реагирования на риски может помочь избежать их появления, определить возможности устранения источника риска, а также обеспечить минимизацию риска путем принятия решений, основанных на приобретаемой информации.

Следует отметить, что управление рисками представляет в настоящее время достаточно развитое направление научных исследований. В частности, стандарт ГОСТ Р ИСО 31000-2010 [14], основанный на процессной модели организации, предусматривает, что управление риском может использоваться во многих областях и уровнях, а также по отношению к особым функциям, проектам и видам деятельности.

Деятельность предприятия, связанная с управлением рисками, должна включать в себя их анализ и оценку, методы оперативной их корректировки и разработки мероприятий, приводящих риски в соответствие с допустимым уровнем, мониторинг процесса управления рисками, а также средства контроля достигнутых результатов, включающие в себя процедуры, предназначенные для обеспечения эффективного и своевременного воздействия на риск.

В целом, управление качеством ПКОПД является сложной задачей, для успешной реализации которой необходимо изначально фокусироваться на формировании эффективной системы создания ПК, обеспечивая при этом

постоянный контроль и корректировку его параметров на всех этапах разработки [67]. Для производства качественного ПКОПД разработчикам необходимо обладать соответствующим опытом и, учитывая специфику предприятия и проекта, уметь комбинировать разные подходы, позволяющие обеспечивать требуемую результативность процесса разработки. При этом учет основных закономерностей изменения, сохранения и взаимного влияния свойств требует отслеживания в процессе проектирования значительного числа постоянно изменяющихся параметров [6].

Необходимо создать надежную среду разработки, которая обеспечит автоматизированное обнаружение регресса, позволит наладить непрерывный контроль и тестирование разрабатываемого продукта.

Во многом это возможно достичь на основе применения цикла Деминга, который позволяет снизить риски получения некачественного или несоответствующего требованиям варианта ПКОПД и ориентирует разработчиков на обеспечение своевременных шагов в части проведения необходимых проверок и тестирования в том числе с целью выявления и дальнейшей корректировки неверных архитектурных или функциональных решений.

Особая роль в совершенствовании процессов разработки ПКОПД отводится ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-2009 [15] «Информационная технология», который фокусируется на моделях оценки и улучшения процессов, применяемых организацией, и позволяющих повысить результативность их использования. Оценка необходима для понимания возможностей подразделений организации и может охватывать все или некоторое подмножество процессов, связанных с управлением качеством разработки проектов согласно ГОСТ Р ИСО 9004-2010 [29]. В стандарте рассмотрены оценочные уровни и основные требования к рейтинговой оценке процессов.

Среди хорошо зарекомендовавших себя на сегодняшний день методологий, связанных с разработкой проектов, можно выделить две основные группы: корпоративные и промышленные. К числу наиболее

известных среди корпоративной группы можно отнести такие, как RUP, MSF, ASAP, а к числу индустриальных - Agile, SCRUM, RAD, XP. Рассмотрим кратко некоторые из них.

Методология RUP основана на учете определенных пользовательских предпочтений и включает в себя возможность использования итеративной разработки, направленной на снижение рисков, а также визуальное моделирование, поддержание уровня качества и мониторинг изменений. При этом рассматривается подход, направленный на обеспечение качества каждого из компонентов системы. Для реализации каждой последующей интеграции отдельных элементов системы предусматривается постоянный мониторинг и контроль вносимых изменений. Кроме того, предусмотрено, что необходимо постоянно поддерживать фокус на осуществлении тестирования, который является важнейшим компонентом управления качеством.

Говоря о методологии MSF важно отметить, что ее важным преимуществом является практическая направленность и простота. В концепции MSF можно выделить определение роли команды и распределение ролей среди разработчиков. Такими ролями являются: управление программой, разработка, тестирование, управление релизами, управления требованиями заказчика и управление продуктом.

К преимуществам методологии ASAP можно также отнести уменьшение времени между инсталляцией и запуском системы, а также создание общей модели управления проектом.

Методология Agile направлена на особенности создания продукта и основана на ряде достаточно актуальных идей, к числу которых следует отнести приоритет взаимодействия работников и процессов, приоритет быстрого реагирования на изменения и др. Рассматриваются вопросы, направленные на определение содержания и значимых ограничений применительно к отдельным элементам проекта. При этом не допускаются ограничения, связанные с инициативой команды, осуществляющей разработку проекта.

Методология SCRUM включает в себя подход, позволяющий создавать действующий продукт, обладающий новыми функциями и возможностями с наивысшим приоритетом. Данная методология часто применяется на первых этапах проектов и в ней отмечается крайняя важность сплоченности команды разработчиков в части непрерывного поиска оптимальных путей совершенствования продукта. В свою очередь методология RAD предполагает использование итеративного цикла развития информационных систем и направлена на использование простых методов разработки и дизайна, осуществление регулярного контроля затрат, предполагает постоянное присутствие заказчика, а также использование результативных тестов и некоторые другие подходы.

1.3 Анализ процессов жизненного цикла программных средств

В соответствии с ГОСТ 19.101-77 [16] программный комплекс является программой, состоящей из двух или более компонентов. При этом под компонентом понимается программа, которая применяется самостоятельно или в составе программного комплекса. В свою очередь, в рамках ГОСТ 28806-90 [17] установлено, что программа представляет собой совокупность данных, предназначенных для управления конкретными компонентами системы. Данный ГОСТ также определяет понятие программное средства (ПС), как объекта состоящего из программ, процедур и сопутствующих данных, относящихся к функционированию системы обработки информации.

Таким образом, программный комплекс (ПК) можно рассматривать как ПС, которое представляет собой объект, состоящий из программ, процедур и соответствующих данных.

В соответствии с вышеизложенным проведем анализ жизненного цикла программных комплексов с позиции программных средств.

На сегодняшний день ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207:2010 [18] представляет собой основной нормативный документ, с помощью которого регламентирован основной состав ЖЦ ПС, а также структура процессов, действий и задач,

требующих выполнения при создании ПС. В рамках данного стандарта также установлена структура, относящаяся к основным, вспомогательным и организационным процессам ЖЦ ПС.

Кроме того, стандарт устанавливает структуру работ в пределах ЖЦ ПС и определяет, что процессы ЖЦ ПС основываются на двух базовых принципах, к числу которых относится принцип связанности и принцип ответственности. Первый принцип отражает важность оптимальной взаимосвязи процессов ЖЦ ПС с точки зрения их практической целесообразности. Вторым принципом выражает необходимость определения ответственности за конкретный процесс той или иной организации.

Стандарт устанавливает, что для описания процесса необходимо использование таких атрибутов как: наименование, цель, выходы, деятельность и задачи. При этом под выходами процесса понимаются результаты, которые могут быть достигнуты в результате осуществленных действий, совокупность которых, в свою очередь, определяют атрибут деятельности. Атрибут задачи основан на соблюдении требований, рекомендаций или допустимых действий, обеспечивающих поддержку атрибута выхода.

Помимо рассмотренных выше атрибутов каждый процесс может быть дополнительно охарактеризован и рядом других общих атрибутов. В ряде случаев процессы с целью необходимой конкретизации их особенностей могут быть подвергнуты декомпозиции, в основе которой, как правило, лежит их разбиение на ряд составляющих более низкого уровня. При этом декомпозированная часть может рассматриваться как процесс более низкого уровня в случае, если она сама удовлетворяет критериям, характеризующим процесс, или же как деятельность, которая, в свою очередь, может рассматриваться как набор задач. При этом каждая из рассматриваемых задач может быть выражена в форме требований, рекомендаций или допустимых действий, которые предназначены для поддержки достижения выходов процесса.

В соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207 в ЖЦ ПС можно выделить 7 групп процессов, которые представлены на рисунке 1.12. Стандарт выделяет два важных варианта разделения процессов: для случая работы с автономным ПС – т.е. в контексте системы, а также для случая, когда ПС является частью более крупной системы.

Процессы соглашения определяют все действия, которые необходимо осуществлять для достижения соглашений между организациями. Они включают в себя процесс приобретения, а также процесс поставки. В результате осуществления этих процессов обеспечиваются условия для ведения дел с поставщиком.

Как правило, структура проекта включает в себя 7 процессов, необходимых для использования при планировании и оценке достигнутых результатов, что подразумевает постоянный контроль за процессом разработки ПС в соответствии с установленным планом работ.

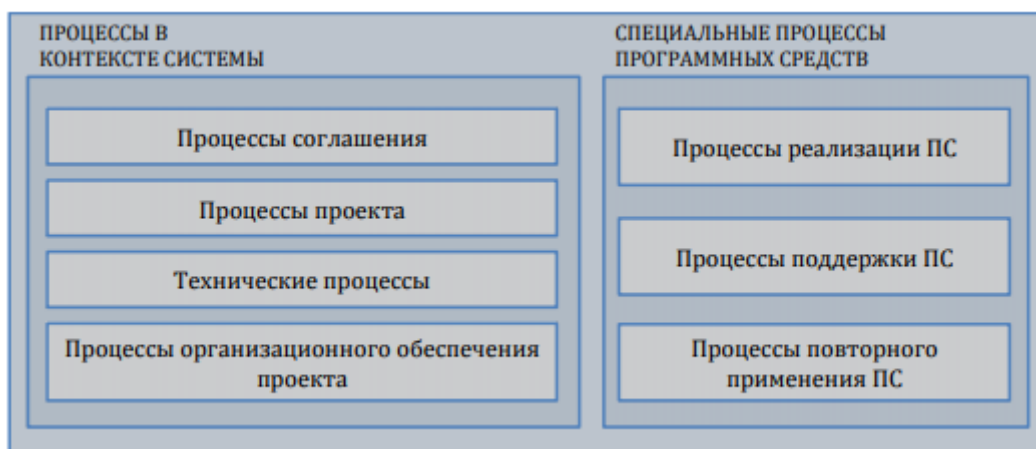


Рисунок 1.12 – Состав процессов ЖЦ ПС в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010

Процессы, связанные с организацией выполнения проектов, включают в себя 5 основных процессов и отражают особенности менеджмента возможностей, связанных с приобретением и поставкой продуктов, а также обеспечивают необходимые ресурсы и инфраструктуру.

Технические процессы являются одними из наиболее составных и включают в себя 11 процессов. Они применяются для формирования

требований, касающихся системы в целом, а также определяют совокупность работ, позволяющих в рамках предприятия и проекта оптимизировать прибыль и уменьшить возможные риски.

Специальные процессы ПС состоят из процессов реализации ПС, процессов поддержки ПС, а также процессов повторного применения ПС. В свою очередь процессы реализации включают в себя 7 процессов более низкого уровня и используются для создания конкретного элемента системы, выполненной в виде ПС. Они определяют системный элемент, который удовлетворяет системным требованиям.

Процессы поддержки включают в себя 8 процессов более низкого уровня и направлены на формирование специально сформулированной совокупности задач, обеспечивающих успешную реализацию программных процессов.

Процессы повторного применения ПС состоит из 3 процессов, которые в свою очередь поддерживают возможности предприятия повторно использовать составные части ПС за рамками одного проекта.

В стандарте определено, что реализация основных положений применительно к определенному предприятию должна концентрироваться на особенностях выбора наиболее значимых процессов, применение которых может быть наиболее целесообразно применительно к конкретному проекту.

Для осуществления процессного подхода применительно к разработке ПС важную роль играет ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 [19], который охватывает как систему в целом, так и совокупность составляющих ее элементов: программ, процедур и прочих ресурсов. В данном стандарте отмечается возможность начала процесса применительно к любому моменту времени, при этом не требуется рассмотрение ограничений, связанных с использованием и последовательностью осуществления нескольких процессов.

В стандарте рассмотрены 4 основных группы процессов, представленных на рисунке 1.13. Эти процессы описывают особенности управления процессом разработки ПС.

Стандарт обеспечивает связь с корпоративными функциями предприятия и способствует более четкому определению их места среди процессов предприятия.



Рисунок 1.13 – Состав процессов ЖЦ ПС в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005

Анализ приведенных процессов во многом способствует формированию системного представления об управлении качеством разработки, в частности, на предприятии, разрабатывающем ПКОПД. В связи с тем, что на результативность работы такого предприятия влияет множество факторов (см. рисунок 1.14), особую важность приобретают вопросы управления качеством ПКОПД с точки зрения процессного подхода.

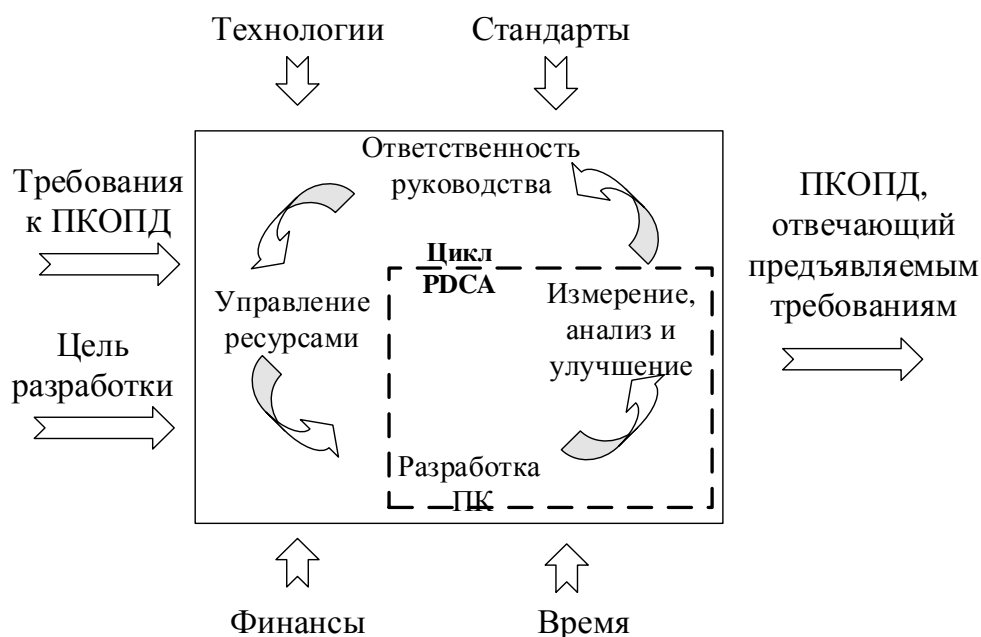


Рисунок 1.14 – Факторы, влияющие на результативность процессов на предприятии-разработчике ПКOPD

Такие факторы важно учитывать в процессе разработки ПКOPD.

1.4 Конкретизация целей и постановка задач исследования

Проведенный выше анализ показывает, что массовое применение инфотелекоммуникационных средств, привело во многом к эмпирическому характеру разработки ПКOPD и несистемной организации процесса их улучшения и совершенствования, определяемой текущей практикой. В свою очередь, недостаточная разработанность самого научно-методического инструментария оценки и улучшения качества ПКOPD приводит к низкой эффективности построения и конфигурирования таких комплексов. И как следствие, это ведет к торможению внедрения перспективных инфотелекоммуникационных технологий в практику деятельности предприятий и организаций Российских предприятий.

Вместе с тем, всестороннее усложнение ПКOPD и взаимодействующих информационных систем в смежных предметных областях ведет к неограниченному росту числа параметров, непосредственно оцениваемых в процессе квалиметрического анализа при разработке и улучшении таких комплексов. Разработчик соответствующего программного обеспечения не

может полноценно и непосредственно контролировать все аспекты качества таких комплексов, не будучи вооруженным специализированным квалиметрическим инструментарием.

Проведенный анализ показывает, что на сегодняшний день имеется серьезное противоречие между потребностью в использовании современного научно-обоснованного инструментария оценки и улучшения качества процессов разработки ПКОПД и реально существующими методами обеспечения результативности его проектирования и разработки. Кроме того, существует проблема, связанная с большим числом контролируемых параметров качества ПКОПД, с одной стороны, и ограниченными физическими возможностями их непосредственного контроля со стороны разработчиков соответствующих ПС с другой. Данные положения определяют актуальность темы диссертационного исследования.

Научный характер исследования определяется необходимостью комплексной оценки и повышения результативности процесса разработки ПКОПД, а также обобщением совокупности моделей и технологий квалиметрической оценки и методов аналитического планирования, разработки и сопровождения современных данных программных комплексов [70].

Целостный научно-методический аппарат оценки и улучшения качества разработки ПКОПД необходим для преодоления эмпирического характера применяемых в настоящее время технических решений в задаче управления качеством рассматриваемых систем. Данное положение определяет теоретическую значимость проводимого исследования. Улучшение качества процессов разработки ПКОПД позволит повысить надежность и эффективность использования программных комплексов, а также обеспечит его дальнейшую поддержку в работоспособном состоянии.

Разрабатываемый научно-методический аппарат с практической точки зрения рассматривается как совокупность инструментариев разработчика, применяемых в ходе проектирования и создания программных средств,

входящих в состав ПКОПД, что определяет прикладную (практическую) значимость диссертационного исследования.

В целом, можно выделить следующие конкретизированные пути применения разрабатываемого аппарата:

1. Внедрение метода оценки качества ПКОПД, как инструментария разработчика данных систем.

2. Использование базовой системы требований к проектированию и разработке ПКОПД и соответствующего инструментария выбора варианта их дальнейшего развития.

3. Управление качеством новых образцов ПС в части их разработки и совершенствования для перспективных ПКОПД.

Анализ основных подходов, возникающих в практике внедрения методов управления качеством при проектировании ПКОПД, позволил установить, что основополагающим элементом метода оценки качества ПКОПД должна стать соответствующая последовательность шагов обоснования, построения и расчета показателей качества, учитывающих специфику разработки и программной реализации данных систем. Во многом это обеспечивает успешное решение научной задачи, связанной с повышением результативности процесса разработки ПКОПД за счет корректного использования предлагаемых методов.

На базе такого подхода становится возможным предложить методический и технологический инструментарий, позволяющий на практике обеспечить повышение результативности процесса разработки ПКОПД.

Данный инструментарий позволяет обеспечить качественно новый подход к оценке и улучшению качества процессов разработки ПКОПД применительно к деятельности предприятий-разработчиков в условиях современной информатизации.

Для достижения сформулированной цели в работе поставлены и решены следующие частные задачи исследования:

- формирование комплексной модели разработки ПКОПД, состоящей из модели качества функционирования с определением требований к модели разработки и модели процесса разработки ПКОПД;
- разработка метода обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД;
- разработка методики управления качеством объектов визуальных данных с учетом потребностей пользователей ПКОПД;
- разработка формализованной процедуры оценки и обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД.

Раскрытие результатов решения указанных частных задач исследования составляет существо представляемой диссертационной работы.

1.5 Выводы по разделу 1

В разделе 1 сформулированы методологические принципы создания ПКОПД, а также предъявляемые к ним требования.

Показано, что ПКОПД представляют собой сложные программные информационно-управляющие системы, качество которых определяется путем многофакторного анализа их характеристик и, в свою очередь, зависит от эффективности проектирования и реализации избранной программной архитектуры комплексов, методов, алгоритмов и подходов к передаче и обработке принятых данных.

Выявлено, что эффективное оценивание и улучшение качества ПКОПД требует адекватного и развитого научно-методического обеспечения: методов, моделей и методик, соответствующих программным средствам и инструментария.

Проанализированы базовые подходы к управлению качеством разработки ПК и рассмотрен состав процессов ЖЦ ПС в соответствии с существующими на сегодняшний день нормативными документами.

Проведен анализ противоречий, возникающих в практике внедрения методов управления качеством при проектировании ПКОПД, который позволил установить, что основополагающим элементом метода оценки

качества ПКОПД должна стать соответствующая последовательность шагов обоснования, построения и расчета показателей качества, учитывающих специфику разработки и программной реализации данных систем.

Проанализирован перечень основных задач, рассматриваемых в диссертационном исследовании.

2. КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

2.1 Анализ методов управления качеством обработки и передачи данных

При передаче данных по сети могут возникать ошибки. В зависимости от применяемого метода передачи такие ошибки могут варьироваться от случайных битовых ошибок в потоке данных вплоть до потерь отдельных сетевых пакетов.

Ошибки при передаче данных по сети можно условно разделить на две основные категории: случайные битовые ошибки и ошибки стирания. Случайные битовые ошибки возникают из-за несовершенства технологии передачи данных на физическом уровне. Такие ошибки могут привести к инвертированию отдельно взятых битов, вставке или удалению битов в определенный фрагмент битовой последовательности. Случайные битовые ошибки способны привести к десинхронизации при декодировании битового потока, что может привести к уже заметным визуальным искажениям.

Множественные случайные битовые ошибки принято называть ошибками стирания. Стирающие ошибки в канале, как правило, происходят в результате потерь сетевых пакетов. Существуют различные причины таких потерь: переполнение приемного буфера промежуточных узлов, недостаточная мощность источника сигнала при использовании беспроводных средств передачи данных, недопустимая задержка ожидаемого пакета и пр.

Однако при использовании неравномерного кодирования отдельные битовые ошибки способны сделать и последующие кодовые слова некорректными. В таком случае декодер не сможет применить их для декодирования. Поскольку в большинстве современных систем сжатия видеоданных (h.264 [65], MPEG-4 [66]) применяется неравномерное кодирование, поэтому в дальнейшем в работе не будет производиться разделение ошибок на случайные битовые ошибки и на ошибки типа стирания.

Все эти ошибки будут в дальнейшем обозначаться как ошибки при передаче данных по сети.

Среди существующих техник борьбы с ошибками, возникающих в канале передачи данных, можно выделить два основных подхода: восстановление исходного передаваемого сигнала (данных) без потерь, а также реконструкция сигнала с целью максимизировать его степень похожести с оригинальным сигналом. В этом случае на стороне-приемнике к полученным кадрам (изображениям) применяются методы маскирования визуальных искажений. Маскирование искажений осуществляется с учетом модели человеческого восприятия визуальных данных [76]. Считается, что человеческий глаз наиболее остро воспринимает изменения в низкочастотных составляющих сигнала, в то время как искажение высокочастотных составляющих слабо влияет на восприятие в целом.

На основе степени взаимодействия между отправляющей и принимающей стороной можно выделить три основных группы.

Первую группу составляют методы, возлагающие всю ответственность за борьбу с возникающими ошибками на сторону отправителя данных. В этом случае, как правило, применяется помехоустойчивое кодирование, позволяющее обнаружить и исправить ошибки в передаваемых кодовых словах. Такой подход принято называть прямым маскированием ошибок (forward error correction).

Во вторую группу входят методы, предполагающие существование и использование обратной связи между стороной-получателем данных и стороной-отправителем данных. В таком случае появляется возможность обработки ошибок в канале передачи данных их совместными действиями. К таким методам можно отнести ретрансляцию потерянных или содержащих ошибки данных на основе специально сформированного автоматического запроса со стороны получателя данных (ARQ) [106]. В эту же группу входят методы, позволяющие кодеру данных динамически изменять параметры применяемого алгоритма сжатия, адаптируясь к изменяющимся условиям

передачи данных, основываясь на информации об обнаруженных ошибках на стороне-приемнике данных. Такие методы называют интерактивными методами маскирования ошибок.

Однако не всегда есть возможность воспользоваться обратной связью вследствие специфики решаемой задачи, например, в случае осуществления вещания в режиме реального времени. Кроме того, не всегда обратная связь технически реализуема, например, при работе с приложениями, обрабатывающими спутниковый сигнал.

Методы, осуществляющие маскирование искажений исключительно на стороне приемнике данных, принято называть маскированием ошибок на этапе постобработки. Разнообразные методы интерполяции, фильтрации и сглаживания изображений составляют основу этой группы.

Одной из приоритетных задач современных стандартов сжатия информации является борьба с избыточностью, содержащейся в исходных данных. Одним из подходов к решению этой задачи является обнаружение и устранение зависимостей как в пространственной, так и во временной областях.

Порой сформированный поток сжатых данных должен удовлетворять заданной пропускной способности канала. Для этого в современных алгоритмах сжатия данных предусмотрены методы, позволяющие влиять на размер порождаемого выходного потока. Поддержка таких методов, как правило, реализуется в модуле битрейт-контроля. В связи с этим, можно выделить 2 основных причины возникновения искажений. Одна связана с обработкой исходных данных, заложенной в модуле битрейт-контроля, а вторая связана с ошибками, возникающими в канале передачи данных.

Таким образом, все техники, реализующие механизмы защиты от ошибок в канале на стороне отправителя можно разделить на несколько основных групп. В первую группу можно выделить методы, позволяющие обойти ограничения, вводимые теоремой Шеннона, организовав взаимодействие между кодером источника данных и канальным кодером [110]. Кроме того, существует ряд методов, применяющих помехоустойчивое кодирование (кодов

исправляющих ошибки) [75], что вносит определенную избыточность в передаваемый битовый поток данных. К третьей группе можно отнести методы, требующие наличия нескольких каналов передачи данных между стороной-передатчиком и стороной-приемником. Здесь можно выделить методы, требующие различной степени надежности у каналов [117] и методы, не накладывающие такого ограничения [111].

Использование обратного канала связи, позволяет кодеру и декодеру визуальных данных производить обработку ошибок, возникающих в канале совместно [98]. Такое взаимодействие позволяет значительно улучшить производительность и эффективность схем, осуществляющих обработку ошибок, происходящих в прямом канале передачи данных. Взаимодействие может быть организовано как на уровне транспортного кодера / декодера, так и на уровне кодера / декодера визуальных данных.

На уровне кодера / декодера визуальных данных совместная обработка может заключаться в том, что кодер может изменять параметры алгоритма, подстраивая их под динамически изменяющиеся условия передачи данных в канале. Так, например, одним из возможных вариантов является изменение границ квантов неравномерного квантователя данных, или запрет выбора определенного кадра в качестве опорного и пр.

Так, например, при возникновении ошибки, стандарт H.263 [64] предусматривает возможность выбора нового опорного кадра с целью избавления от эффекта влияния распространения ошибки. В этом случае и у кодера, и у декодера существует несколько буферов, содержащих кадровую ошибку предсказания. При возникновении ошибки кодер продолжает использовать в дальнейшей работе разностный кадр буфера, не затронутый ошибкой. Такой подход позволяет продолжать работать с битовым протоколом, свободным от влияния ошибок.

На уровне транспортного кодера / декодера, при использовании помехоустойчивого кодирования, взаимодействие может быть применено для динамического изменения соотношения количества информационных битов к

количеству проверочных битов, основываясь на статистике ошибок, происходящих в канале в определенный момент времени

Один из возможных вариантов применения взаимодействия заключается в повторной пересылке (ретрансляции) пакетов, содержащих потерянные или некорректные данные. Однако здесь следует отметить, что при реализации подобного подхода возможно появление довольно больших задержек, что в ряде приложений является недопустимым (например, при работе в режиме реального времени).

Как уже было отмечено ранее, не всегда обратная связь между кодером и декодером данных существует. Кроме того, в ряде случаев защита данных на стороне кодера не является достаточно эффективной, а это приводит к тому, что данные, поступающие на декодер, могут содержать ошибки. В таком случае маскирование визуальных искажений на стороне декодера является единственной мерой, позволяющей повысить качество обрабатываемых визуальных данных.

Большинство методов постобработки сигнала на стороне декодера производят восстановление визуальных данных, учитывая априорное знание о структуре или содержании обрабатываемого контента. В зависимости от способа формирования априорного знания принято выделять два поколения методов. Методы, относящиеся к первому поколению, являются пиксельно-ориентированными и осуществляют восстановление, основываясь на анализе характеристик и взаимосвязей отдельных пикселей или отдельных блоков (кластеров) пикселей. Работа таких алгоритмов, как правило, основана на предположении о гладкости и непрерывности пиксельного пространства визуальных.

Существует ряд методов, осуществляющих постобработку пиксельных данных на семантически более высоком уровне – на уровне представления объектов. Под объектом в таком случае, как правило, подразумевается некий набор пикселей, объединенных общими низкоуровневыми признаками, к числу которых можно отнести их интенсивности, формируемый ими текстурный или

геометрический рисунок. Такие методы принято относить ко второму поколению постобработки данных.

Среди методов первого поколения, производящих обработку ошибок на стороне декодера можно выделить несколько основных групп. В первую группу входят методы, основанные на пространственной интерполяции данных. Ко второй группе можно отнести методы, применяющие временную интерполяцию. К третьей группе можно отнести методы, осуществляющие маскирование искажений путем анализа частотных областей сигнала. Четвертую группу составляют гибридные или смешанные методы обработки, которые являются их комбинацией или цепочкой из последовательно применяемых алгоритмов обработки.

При применении данного подхода наиболее эффективное восстановление визуальных данных достигается при наличии сильной корреляции значений пикселей, применяемых для интерполяции, с пикселями, потерянными при передаче. Интерполяция потерянных пикселей осуществляется на основе информации, содержащейся в близлежащих блоках данных, учитывая особенности, присущие визуальным данным естественного происхождения. Как правило, в этом случае потерянные блоки принято относить к одному из трех типов: блоки гладкого типа, блоки, содержащие контур каких-либо объектов, а также текстурные блоки.

Восстановление блоков первого типа, как правило, осуществляется путем минимизации некоторой заранее выбранной функции, описывающей потерянную в блоке информацию. Существует большое количество методов, осуществляющих интерполяцию данных, основываясь на предположении о гладкости пиксельного пространства. Одним из простейших подходов является метод, предложенный в [109]. В этой работе авторы предлагают производить интерполяцию путем взвешенного усреднения значений окружающих пикселей. При этом величина коэффициентов обратно пропорциональна расстоянию между интерполируемым пикселем и пикселем, значение интенсивности которого известно.

Усредняющие методы пространственной интерполяции данных способны показывать хорошие результаты в основном только на гладких однородных областях визуальных данных.

В большинстве методов, нацеленных на восстановление блоков второго типа, можно выделить три основных этапа. Так, в первую очередь производится анализ блока, содержащего потери, на наличие контуров, и в случае их обнаружения, производится оценка их направления. На втором этапе осуществляется восстановление, основываясь на информации, содержащейся в соседних блоках данных. На заключительном, третьем, этапе производится процедура восстановления необработанных пикселей изображения.

Такая последовательность действий обусловлена стремлением синтезировать данные, наиболее пригодные с точки зрения модели человеческого восприятия. Согласно этой модели, человеческое восприятие визуальных данных проявляет особую чувствительность к контурам объектов. В связи с этим важнейшей задачей алгоритма восстановления визуальных данных является как восстановление контуров, так и минимизация вероятности генерации ложных контуров. Кроме того, расплывчатые, неявные границы объектов отрицательно сказываются на оценке качества визуальных данных. Таким образом, способность алгоритма восстановления изображений синтезировать естественные четкие контуры объектов без разрывов и размытия является важным критерием оценки качества его работы [97].

Методы, основанные на приоритетном восстановлении контуров (Directional Interpolation), во многом основаны на указанных принципах [103].

Примером данного подхода является следующий алгоритм [94]. В своей работе авторы предложили оценивать направление контура, используя информацию об обнаруженных контурах в соседних блоках данных. Воссоединение контуров, содержащих разрывы, предлагается производить, с использованием билинейной интерполяции, которая опирается как на уже ранее обнаруженные контура, так и на сетку опорных пикселей. При этом вводится

допущение, что информация, содержащаяся в четырех соседних макроблоках, окружающих макроблок с потерянными данными, является доступной.

Такое предположение не всегда является допустимым применительно к современным стандартам сжатия видеоданных. Так, например, в стандарте H.264 подобная ситуация может возникнуть только при обработке кадров P-типа. Это объясняется тем, что в ключевых кадрах для соседних макроблоков может использоваться пространственное предсказание, опирающиеся на данные, содержащиеся в искаженном или потерянном макроблоке. При этом восстановление данных может производиться на основе анализа как четырех, так и двух соседних макроблоков.

Принцип приоритетного восстановления контуров в потерянном блоке данных также положен и в основу процедуры, предложенной авторами [107] для восстановления опорных кадров видеопоследовательности H.264. В данной работе предлагается производить обнаружение контура путем построения и последующий оценки нескольких его возможных направлений. При этом направление с наибольшим откликом принимается за истинную границу. Интерполяция пикселей потерянной области осуществляется путем анализа пикселей, лежащих на выбранном направлении.

Существует ряд методов восстановления изображений, подвергнутых сжатию кодеком стандарта JPEG2000 [92], который основан на применении вейвлет преобразования. В этом случае требуется осуществлять приоритетное восстановления границ с целью маскирования воздействия ошибок, произошедших в высокочастотной области сигнала. При обработке изображений в формате JPEG2000 ошибки такого типа не приводят к нарушению целостности контуров [100]. Как правило, результирующие искажения проявляются в размытии границ, а также в округлении острых углов, присутствующих на изображении. В представленном алгоритме можно выделить два основных шага. На первом этапе производится обнаружение и оценка направлений обнаруженных контуров на изображении. На следующем шаге, на основе двух функций, накладывающих ограничения, производится

восстановление потерянных вейвлет коэффициентов. Отклик первой функций основан на статистическом анализе коэффициентов, формирующих частотную область сигнала. Основной задачей второй функции является минимизация влияния алгоритма восстановления на визуальные данные, свободные от воздействия ошибок.

Рассмотренный принцип приоритетного восстановления границ нашел применение и в области алгоритмов, осуществляющих изменение размеров изображения. Например, в работе [121] в основу представленного алгоритма также положен принцип сохранения целостности обнаруженных контуров на изображении. Так, на первом этапе, на исходном изображении низкого разрешения осуществляется поиск пикселей, формирующих контур, а также производится оценка его направления в интерполируемых пикселях. На следующем шаге, на основе обнаруженных опорных пикселей производится формирование границ на изображении более высокого разрешения. На заключительном, третьем шаге, возможные разрывы в построенных контурах устраняются путем применения проективного оператора.

В основу методов, осуществляющих восстановление изображения или кадра видеопоследовательности, путем анализа геометрических свойств обнаруженных контуров, как правило, положены более сложные алгоритмы обработки визуальных данных

Так, можно выделить подходы, осуществляющие маскирование искажений путем анализа локальных геометрических особенностей ближайшего к потерянной региону. Бинарный шаблон формируется на основе анализа ближайших двух слоев пикселей, окружающих искаженный в результате ошибки регион [83]. На его основе принимается решение о том, имеют ли данные, содержащиеся в потерянной блоке однородную или неоднородную структуру. В первом случае, для маскирования ошибок применяется проективный оператор. В противном случае осуществляется восстановление в первую очередь контуров путем обнаружения и соединения

наиболее выдающихся точек сочленения, и при этом дальнейшее восстановление производится с помощью билинейной интерполяции.

В работе [126] авторы предложили алгоритм последовательной адаптивной интерполяции изображений, который основан на применении линейной регрессионной модели. Инициализация параметров модели осуществляется путем анализа четырех слоев пикселей, ближайших к искаженному региону изображения. В дальнейшем построенная модель используется для попиксельного восстановления искаженного региона. Выражаясь математически более строго, интерполяция значения потерянного пикселя производится следующим образом:

$$S = \sum_N a_k S_k, \quad (2.1)$$

где S – интерполируемое значение пикселя, $\{S_k\}$ – значения соседних N пикселей, $\{a_k\}$ – весовые коэффициенты, которые можно находить, применяя метод наименьших квадратов.

В отдельную группу методов восстановления визуальных данных можно выделить подходы, основанные на предположении о наличии высокой пространственной корреляции между регионами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга [125]. Существует теория, согласно которой человеческая зрительная система восприятия визуальной информации способна улавливать зависимость между данными, расположенными на значительном расстоянии друг от друга. Это предположение и легло в основной принцип алгоритмов восстановления, основанных на принципе наибольшего апертурного подобия.

2.2 Разработка модели обеспечения качества функционирования программных комплексов обработки и передачи данных

В настоящее время все большую значимость приобретают задачи, связанные с формированием глобальных сетей, в рамках которых требуется обеспечить необходимое качество взаимодействия объектов и компонентов, включающих в себя совокупность серверов, вычислительных систем и прочих

устройств, а также предоставляемых с их помощью разнообразных информационных услуг, направленных на адаптацию разработанных продуктов. При этом согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 [18] особую важность приобретает рассмотрение особенностей решения этих задач на различных стадиях жизненного цикла разрабатываемых программных средств [3].

В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 15271-2002 [20] при рассмотрении вопросов практического применения разрабатываемых систем, как комбинации технических средств, компьютеров, программных средств и пр., необходимо уделять особое внимание характеристикам, относящимся к программным средствам. В рамках данного стандарта перечислен также ряд важнейших характеристик, к числу которых отнесен внутрисистемный интерфейс взаимодействия компонентов системы, составной частью которого является установка надежного сетевого соединения, которое применительно к программным средствам, функционирующим в рамках глобальных сетей, в конечном итоге во многом и определяет качество их работы. При этом, немаловажной характеристикой объектов, участвующих в соединении, является обеспечение качества передачи визуальных данных, что применительно к ГОСТ Р ИСО 9000-2015 является важнейшим требованием к рассматриваемым материальным объектам.

Среди существующих на сегодняшний день подходов можно выделить два основных типа установки соединения: без использования промежуточного сервера – так называемое прямое соединение и с использованием промежуточного сервера (ретранслятора данных). Реализация прямого соединения, как правило, основывается на протоколах TCP или UDP. При использовании соединения такого типа не требуется промежуточных серверов для его установки и поддержания. При использовании соединения второго типа в качестве сервера-ретранслятора, как правило, используется TURN-сервер, обмен данными с которым осуществляется по TCP протоколу.

Установка соединения с применением промежуточного сервера обеспечивает доставку отправленных данных, но требует использования дополнительных технических средств, что может привести к дополнительным задержкам передачи, а также нагрузкам на сетевое оборудование.

Одной из важнейших задач, требующих решения при установке соединения, является реализация механизма обхода NAT (Network Address Translation) – механизма в сетях TCP/IP, позволяющего преобразовывать IP-адреса проходящих через него сетевых пакетов.

В зависимости от способа преобразования сетевых адресов можно выделить четыре основных типа NAT:

- 1) полный конус;
- 2) ограниченный конус;
- 3) ограниченный конус по порту;
- 4) симметричный.

При использовании NAT типа полный конус внешний порт приемного устройства открыт для входящих с любых адресов запросов. Для отправки данных сетевому объекту, расположенному за NAT этого типа, требуется знать только его внешний порт, через который установлено соединение. Таким образом, во входящих пакетах проверяется только тип протокола, а адреса и порты отправителя и получателя игнорируются.

Использование NAT типа ограниченный конус предполагает, что внешний порт устройства открыт для любого пакета, посланного с удаленного сетевого объекта. Пакет, пришедший из внешней сети, будет отправлен на целевое устройство только в том случае, если с него был предварительно отослан запрос на IP-адрес внешнего сетевого устройства. Таким образом, маршрутизатор будет пропускать только пакеты, имеющие определенный адрес отправителя.

Механизм NAT, типа конуса, ограниченного по порту, почти аналогичен механизму NAT, работающему по типу ограниченного конуса. Однако, в

данном случае NAT блокирует все пакеты, пришедшие с транспортных адресов, на которые целевое устройство ранее не отправляло запросов.

Симметричный NAT значительно отличается от описанных выше способом преобразования внутреннего транспортного адреса во внешний. NAT такого типа запросам, отправленным с одного и того же порта, но на разные сетевые транспортные адреса ставит в соответствие разные транспортные адреса.

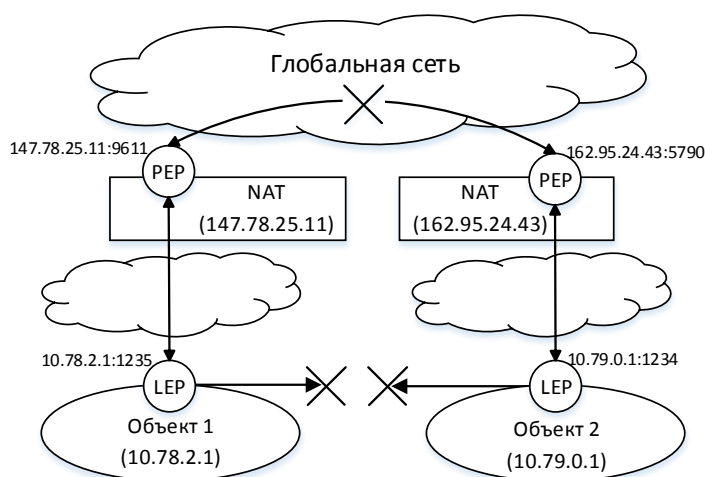


Рисунок 2.1 – Проблема установки соединения между объектами, находящимися за разными NAT

Основная проблема при установке соединения между объектами, расположенными за разными NAT, отображена на рисунке 2.1. В этом случае установка прямого соединения между ними представляет определённую сложность в виду того, что реальный транспортный адрес скрыт за NAT. Так, на рисунке 2.1 объект 1 не сможет установить прямое соединение с объектом 2, используя его локальный транспортный адрес, т.к. они физически располагаются в разных локальных сетях, а соответствующие им локальные транспортные адреса скрыты за NAT.

Значительный интерес представляет комплексный метод, предусматривающий возможность совместного использования различных подходов установки соединения, а также формализованное описание шагов, необходимых для их практической реализации [59]. Блок-схема алгоритма,

описывающая реализацию предложенного комплексного метода, приведена на рисунке 2.2:

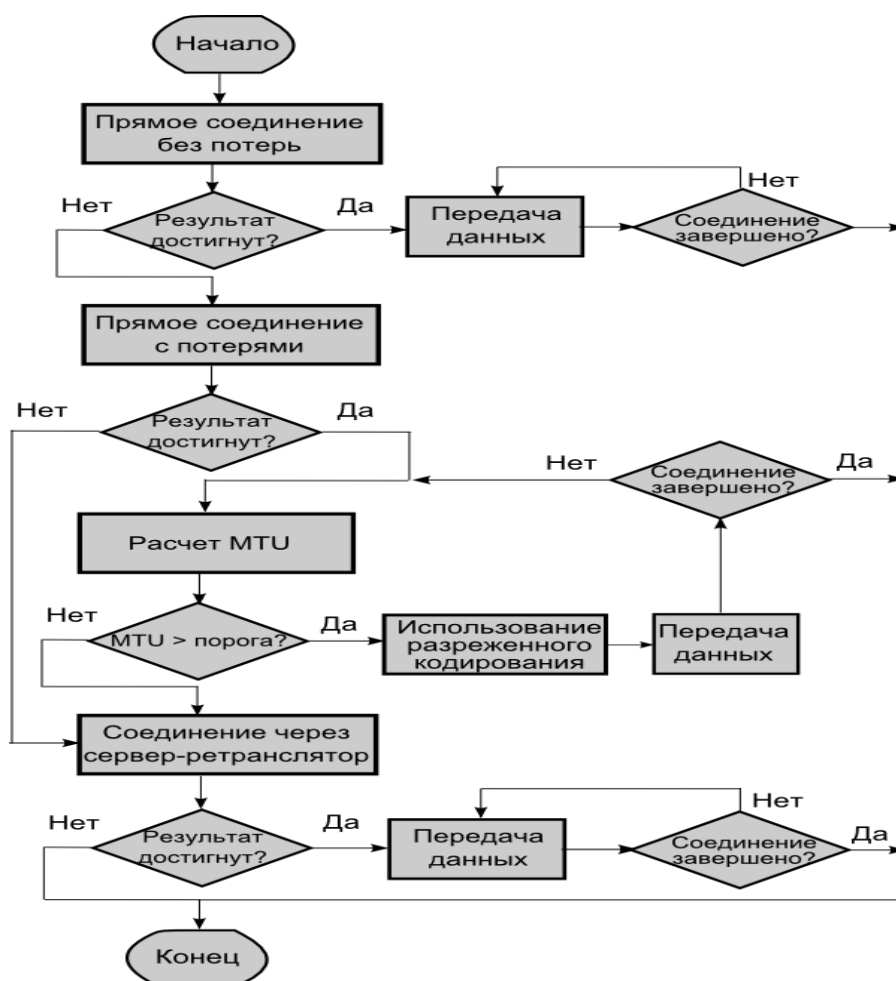


Рисунок 2.2 – Алгоритм комплексной оценки и обеспечения качества взаимодействия сетевых объектов

Первым шагом в осуществлении данной задачи является реализация прямого TCP соединения. Основная практическая сложность при его реализации связана не с самим протоколом как таковым, а со сложностью обеспечения взаимодействия с программным интерфейсом операционной системы в соответствии с определением, представленным в ГОСТ 15971-90 [38]. В связи с тем, что изначально сокеты были разработаны для использования в рамках клиент-серверного взаимодействия, их программный интерфейс позволяет TCP сокету находиться либо в состоянии инициатора соединения, либо в состоянии акцептанта соединения, но не в обоих одновременно. Кроме того, как правило, операционная система устанавливает

отношение один к одному между TCP-сокетом и используемым им локальным транспортным адресом, что не позволяет двум TCP-сокетами использовать одновременно один и тот же транспортный адрес.

Однако, для установки прямого TCP соединения объекту требуется одновременно как слушать входящие заявки на установку TCP-соединения, так и самому отсылать пакеты, содержащие предложения к установке соединения. Одним из способов обхода, поддерживаемого большинством операционных систем, является установка опции, позволяющей нескольким сокетами использовать один и тот же транспортный адрес.

Рассмотрим в общем случае алгоритм установки прямого TCP соединения. Будем предполагать, что обе стороны предварительно установили соединение с общедоступным сигнальным сервером S. В процедуре установки прямого соединения можно выделить следующие инициализирующие шаги.

1. Объект 1 делает запрос к сигнальному серверу S на установку соединения с объектом 2.
2. S направляет обоим объектам команду на сбор собственных кандидатов. При получении команды на сбор собственных кандидатов каждая из сторон обращается к известным ей TURN-серверам для получения от каждого из них своего внешнего адреса в соответствующей локальной сети.
3. После формирования списка собственных кандидатов обе стороны сообщают его сигнальному серверу S.
4. S направляет каждой из сторон список кандидатов удаленной стороны.

Алгоритм установки прямого TCP соединения продолжается следующим образом.

1. Используя тот же самый транспортный адрес, с которого было установлено соединение с TURN-сервером, обе стороны начинают отсылать запросы на установку TCP соединения на локальный и публичный транспортный адрес удаленной стороны, которые были получены от S.

Одновременно, тот же самый адрес используется для прослушивания входящих заявок на установку соединения.

2. Обе стороны ожидают успешного принятия исходящей заявки или появления входящей заявки. Если при обработке исходящей заявки возникает сетевая ошибка, то объект осуществляет повторную отправку исходящего запроса на соединение. Такие попытки могут проводиться до достижения максимального времени ожидания на установление соединения.

3. После успешно установленного TCP соединения обе стороны осуществляют процедуру аутентификации для того, чтобы убедиться, что соединение установлено с требуемым объектом. В случае провала этой процедуры установленное соединение разрывается, и обе стороны ожидают следующего успешно установленного соединения.

Пример схемы установки прямого TCP соединения приведен на рисунке 2.3.

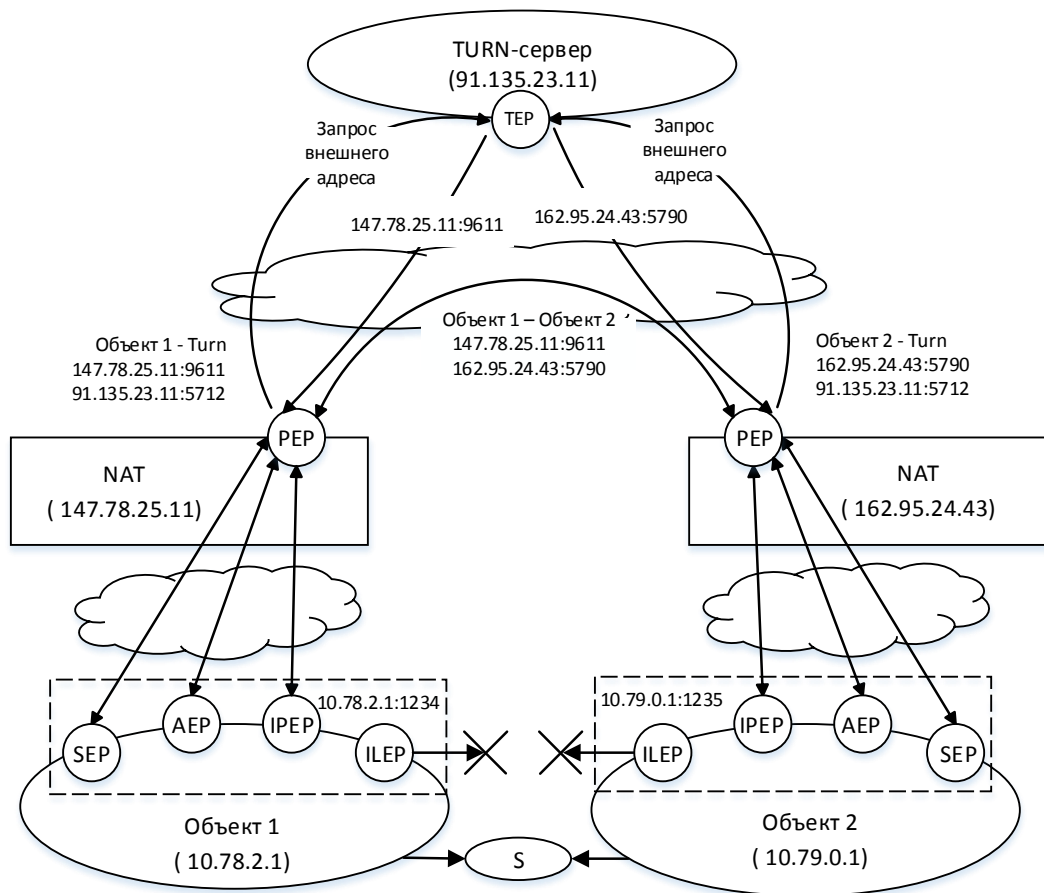


Рисунок 2.3 – Схема установки прямого TCP-соединения

В приведенном примере стороны не могут установить прямое TCP соединение, зная только локальные транспортные адреса друг друга, поскольку они находятся в разных локальных сетях. Для установки соединения каждая из сторон, используя сокет, обозначенный на рисунке 2.3 как SEP, обращается к TURN-серверу с целью определения своего внешнего транспортного адреса, выданного NAT – транспортного адреса сокета, обозначенного на рисунке 2.3 как PER. Не завершённое соединение с TURN-сервером, создаёт правило на NAT, позволяющее пропускать запросы на установку прямого TCP-соединения между сторонами. Как было сказано выше, поскольку при установке прямого TCP соединения один и тот же сокет не может одновременно являться инициатором и акцептантом TCP соединения, то обе стороны создают у себя два дополнительных сокета, каждый из которых использует тот же самый локальный транспортный адрес, который был задействован ранее для установки соединения с TURN-сервером.

С использованием одного из сокетов (обозначен на рисунке 2.3 как IPER) каждая из сторон начинает отсылать запросы на установление TCP-соединения с удалённой стороной, а второй из созданных сокетов (обозначен на рисунке 2.3 как AEP) выступает в качестве акцептанта входящего соединения. Первая пара сокетов, которой удалось установить соединение, используется для дальнейшего сеанса связи.

В случае, если применение прямого TCP соединения не достигло желаемой цели, то осуществляется реализация прямого UDP соединения, которое в отличие от TCP соединения не гарантирует надёжность доставки данных. В дальнейшем локальный адрес будем называть локальным собственным кандидатом, а внешний адрес - внешним собственным кандидатом.

Инициализирующие шаги установки прямого UDP соединения аналогичны ранее приведённым, но в отличие от прямого TCP соединения запросы на получение внешнего адреса направляются к STUN-серверам. Далее

в процедуре установки прямого UDP соединения можно выделить следующие основные шаги.

1. Получив от S список удаленных кандидатов, используя параллельную процедуру, каждая из сторон каждому удаленному кандидату из списка отправляет UDP пакеты с запросом на установку соединения. Поскольку протокол UDP для осуществления сеанса связи не требует установки на уровне сокетов, а также не гарантирует доставки пакетов, то запросы на установку сеанса связи отсылаются несколько раз.

2. При получении одной из сторон сообщения, содержащего приглашение к установлению соединения, она в ответ отправляет несколько раз подтверждающее сообщение.

3. Адрес, на который был получен первый ответ с удаленной стороны, используется для дальнейшего сеанса связи.

На рисунке 2.4 представлен пример схемы установки прямого UDP соединения для случая, при котором сетевые объекты находятся в разных локальных сетях. Поскольку в приведенном примере обе стороны находятся за NAT, то для установки прямого UDP соединения требуется определение собственного внешнего адреса. Так, в приведенном примере, в результате запросов к STUN-серверу обе стороны узнают свои внешние транспортные адреса.

Следует отметить, что при использовании UDP соединения возможны потери сетевых пакетов, и обработка таких потерь является крайне важной при работе с визуальными данными. В случае отсутствия обратной связи между отправителем и получателем данных такая задача решается с использованием алгоритмов восстановления данных.

Для UDP соединения важной характеристикой качества установленного соединения является MTU (Maximum Transmission Unit) – максимальный объем данных, который может быть передан протоколом без его фрагментации - разбиения на более мелкие составляющие, которые затем собираются воедино на приемной стороне. Утрата одного из таких фрагментов приводит к утрате

всего исходного пакета. Таким образом, использование прямого UDP соединения при малых значениях MTU может привести к значительному ухудшению качества связи. В целях предоставления наиболее хорошего качества соединения при возникновении такой ситуации осуществляется переход к реализации соединения с использованием промежуточного TURN-сервера.

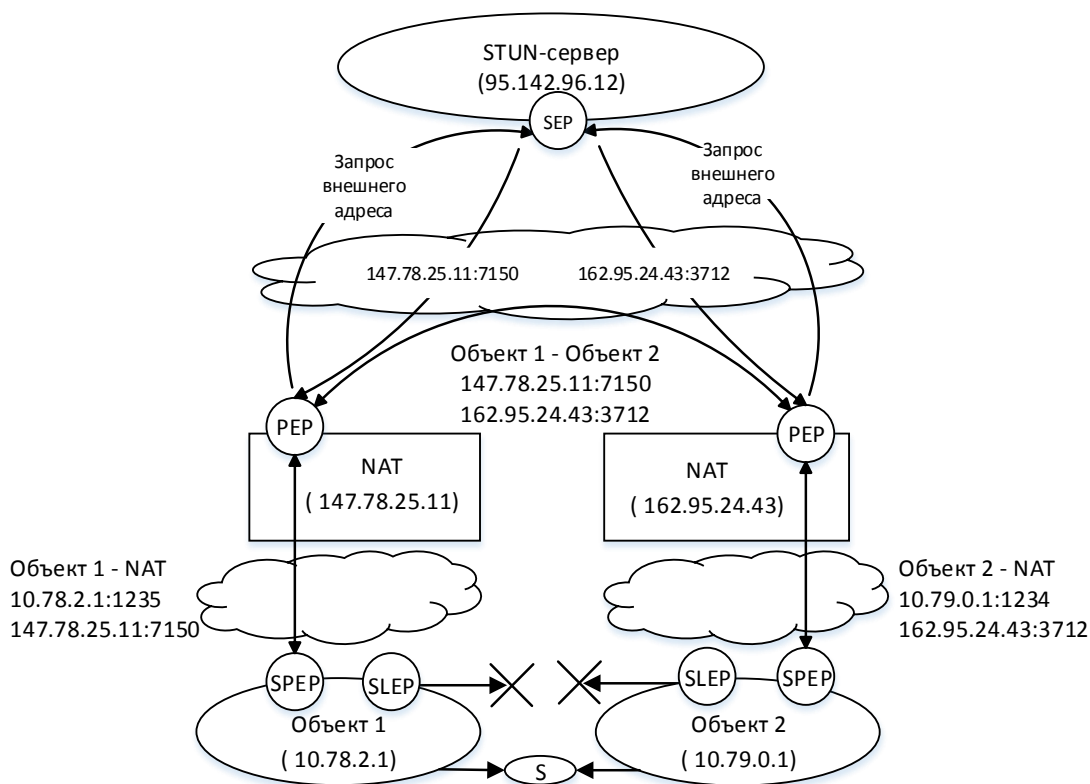


Рисунок 2.4 – Схема установки прямого UDP соединения

С использованием TURN протокола возможна установка соединения между двумя сторонами, находящимися в том числе и в разных локальных сетях, расположенных за NAT. При использовании этого протокола предполагается задействование промежуточного сервера для ретрансляции сетевых пакетов. В этом случае для поддержания сеанса связи требуется активное использование ресурсов сервера-ретранслятора, что помимо постоянного задействования его ресурсов накладывает еще и дополнительную задержку на доставку пакетов по сети от отправителя к получателю данных. В общем случае обобщенный алгоритм установки соединения с использованием TURN-сервера можно представить следующим образом.

1. Каждая из сторон отправляет к TURN-серверу запрос для резервирования на сервере транспортного адреса, который в дальнейшем будет использоваться удаленной стороной для сеанса связи.

2. После получения ответа от TURN-сервера, оповещающего об успешном резервировании ресурсов, стороны обмениваются друг с другом полученными адресами, через сигнальный сервер S.

3. Каждая из сторон отсылает к TURN-серверу запрос, создающий правило на сервере, позволяющее обмениваться пакетами между выделенными каждой из сторон транспортными адресами.

4. После установки сеанса связи каждая из сторон должна периодически оповещать TURN-сервер с помощью специального запроса о том, что выделенные ресурсы еще используются. Это необходимо для того, чтобы в случае внезапного разрыва соединения у сервера была возможность освободить по достижению заданного таймаута занимаемые ресурсы, которые могут быть использованы для установки новых соединений.

Пример схемы установки соединения через TURN-сервер приведен на рисунке 2.5. Каждая из сторон делает запрос к серверу для резервирования на нем транспортного адреса. При прохождении NAT адрес локального сокета (обозначен на рисунке 2.5 как CLEP) подменяется на адрес сокета, выделенного на NAT (обозначен на рисунке 2.5 как CPEP). В ответном сообщении содержится зарезервированный на TURN-сервере транспортный адрес. После обмена полученными адресами через сигнальный сервер S обе стороны делают запрос к серверу, который создает правило, позволяющее обмениваться данными между этими адресами. Для осуществления сеанса связи каждая из сторон отсылает данные на выделенный для удаленной стороны транспортный адрес на TURN-сервере.

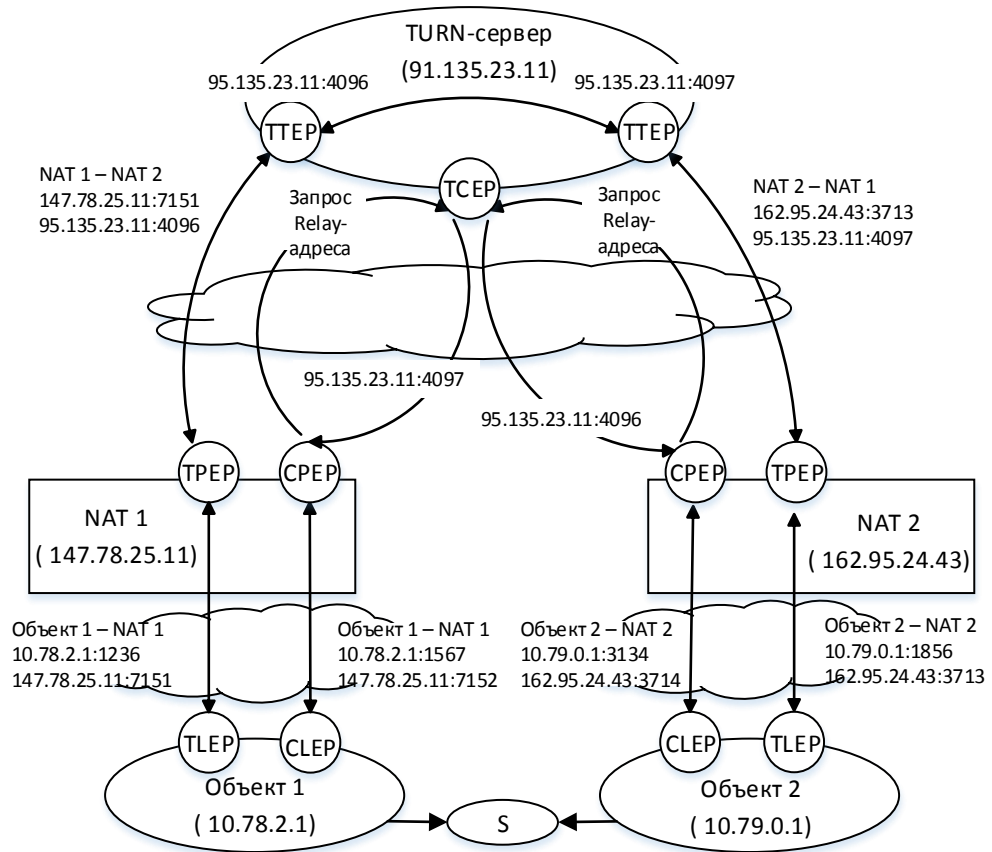


Рисунок 2.5 – Схема установки соединения с использованием TURN - сервера

Сетевая архитектура может значительно влиять на возможности установки соединения между компьютерами. Для того чтобы максимально повысить возможности установки соединения каждой стороне необходимо последовательно осуществлять попытки установки соединения, используя рассмотренные выше подходы. С этой целью сторонам необходимо собрать, а затем обменяться друг с другом множеством собранных собственных кандидатов, которые в дальнейшем подвергаются проверкам на возможность установки соединения.

Таким образом, каждая из сторон собирает кандидатов, каждый из которых относится к одному из следующих типов:

- 1) локальный транспортный адрес UDP и TCP протокола;
- 2) внешний транспортный адрес UDP и TCP протокола, полученный в результате ответа на запрос к STUN или TURN-серверу;

3) транспортный адрес, выделенный на TURN-сервере в результате специально сформированного запроса.

Учитывая приоритет использования того или иного кандидата, выносится решение о выборе пары кандидатов для установки соединения.

Следует отметить, что при использовании UDP соединения возможны потери, и обработка таких потерь является крайне важной при работе с визуальными данными. Такая задача решается с использованием алгоритмов восстановления данных. Как было показано ранее [72] алгоритмы восстановления, основанные на разреженном представлении данных, являются одними из наиболее результативных. Таким образом, модель качества функционирования ПКОПД, позволяющая установить результативность работы ПКОПД с учетом изменяющихся характеристик сети передачи данных, а также учитывающая риск возникновения визуальных искажений можно представить следующим образом:

$$P_f = S \left[\lambda \|\tilde{\mathbf{x}} - \mathbf{y}\|_2^2 + \sum_{ij} \mu_{ij} \|\mathbf{a}_{ij}\|_0 + \sum_{ij} \|\mathbf{D}\mathbf{a}_{ij} - \mathbf{R}_{ij}\mathbf{y}\|_2^2 \right] + f(N), \quad (2.2)$$

где P_f – показатель качества функционирования ПКОПД, S – коэффициент значимости восстановления данных, $\hat{\mathbf{x}}$ – восстановленное изображение, \mathbf{y} – искаженное изображение, $f(N)$ – штрафное слагаемое, величина которого определяется типом установленного соединения, N – размер MTU, а λ , μ_{ij} , \mathbf{a}_{ij} , \mathbf{R}_{ij} и \mathbf{D} – параметры разреженного кодирования, которые подробно рассмотрены в разделе 3.

Таким образом, важной задачей является минимизация в выражении первого слагаемого, в котором первое слагаемое контролирует важность сохранения схожести в целом между восстановленным изображением $\hat{\mathbf{x}}$ и искаженным \mathbf{y} , а второе и третье слагаемые задают важность разреженности представления и точности аппроксимации отдельных блоков изображения соответственно.

2.3 Разработка модели процесса разработки программных комплексов обработки и передачи данных

При осуществлении выбора модели ЖЦ ПС применительно к требуемой предметной области осуществляется решение задач, связанных с добавлением важных для разрабатываемого ПС классов работ или исключением работ, не имеющих существенного значения. При формировании новой модели ЖЦ ПС важную роль играет стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010, с помощью которого задается полный набор процессов, которые охватывают разнообразные виды работ, требуемых для построения ПС [2, 41]. В данном стандарте представлена структура ЖЦ ПС, применительно к которой при разработке ПО не устанавливается жесткое требование на использование приведенных процессов в модели ЖЦ ПС. Данный стандарт относится к категории высокого уровня и в нем не задаются детали того, каким образом необходимо осуществлять совокупность действий или задач, относящихся к процессу. Данное свойство предоставляет возможность успешно осуществлять его реализацию, применяя различные модели ЖЦ ПС. С его помощью также не задаются требования, связанные с форматом и содержанием документов, подлежащих выпуску при реализации разных процессов. Кроме того, на основе данного стандарта предоставляется реальная возможность разработки совокупности стандартов, регламентирующих вопросы управления ПО, обеспечения качества, управления конфигурацией, формирования набора метрик и пр.

Применительно к каждому процессу рассматриваются вопросы, связанные с использованием при реализации конкретных задач, поставленных перед ПС методов программирования, а также методик применения и последующего выполнения. Осуществляя формирование модели ЖЦ ПС следует рассматривать ряд организационных аспектов, связанных с планированием порядка выполнения работ и контроля сроков их реализации, подбором и подготовкой ресурсов, необходимых при выполнении работ, а

также оценкой реальных возможностей осуществления проекта с указанием конкретных сроков и стоимостей.

При разработке процессов моделей ЖЦ ПС следует исходить из того, что центральным звеном являются разработчики системы, каждый из которых может выполнять совокупность процессов. При этом за каждый процесс или применительно ко всем процессам модели в совокупности должен быть назначен ответственный.

Наиболее распространенными типами моделей ЖЦ являются каскадная, инкрементная, спиральная и ряд других. При этом формирование этих моделей ЖЦ основывается на реализации процессного подхода.

При использовании каскадной модели, предполагается, что выполнение каждой работы осуществляется только один раз и в порядке, предусмотренном моделью (см. рисунок 2.6):

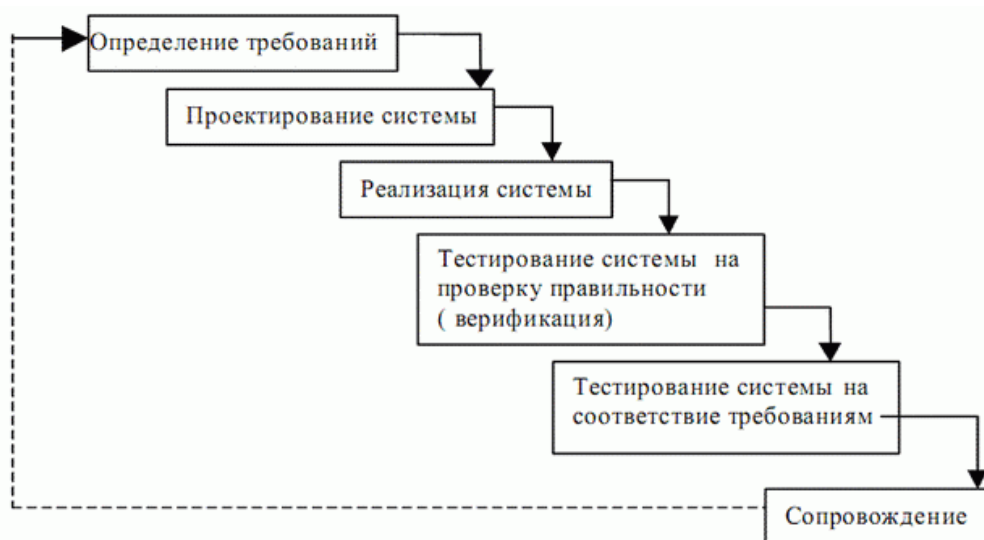


Рисунок 2.6 – Каскадная модель ЖЦ ПС

Выполнение вспомогательных и организационных процессов должно осуществляться параллельно с основными процессами разработки. Модель предусматривает возможность возвращения к первоначальному процессу после завершения этапа исправления ошибок. Использование данной модели предполагает высокое качество выполнения каждой отдельной работы, в связи с чем после завершения каждой из них возврат к предыдущему этапу не

требуется. Данную модель целесообразно использовать в рамках начальных версий ПС, осуществляя первоначальную проверку ее работоспособности.

Следует отметить, что при осуществлении сопровождения возможно обнаружение различных ошибок, для исправления которых может потребоваться повторное выполнение всех ранее пройденных этапов, включая уточнение требований.

Использование каскадной модели связано с появлением ряда факторов риска. К числу наиболее важных из них следует отнести следующие:

- недостаточная проработанность требований к ПС, не учитывающая особенности развития современных технологий;
- ухудшение качества процесса разработки в связи с внесением быстрых или незапланированных изменений;
- реализация большой системы, не допускающей компонентной декомпозиции, может привести к невозможности ее применения в условиях заранее не предусмотренных требованиями;
- ограничения на программные и технические ресурсы могут снизить потенциальные возможности использования системы.

Представленная на рисунке 2.7 инкрементная стратегия предусматривает линейную последовательность стадий разработки ПС, каждая из которых улучшает предыдущую версию продукта. Первым шагом выполнения проекта является формирование основных требований к ПС, на основе которых реализуется каждая из последующих разрабатываемых версий. Причем каждая последующая версия является работоспособной и производит итеративное приближение к полнофункциональной версии продукта.

Важной особенностью данной модели является то, что она применима для реализации сложных ПК, применительно к которым как заказчик, так и разработчик четко представляет конечную цель разработки.

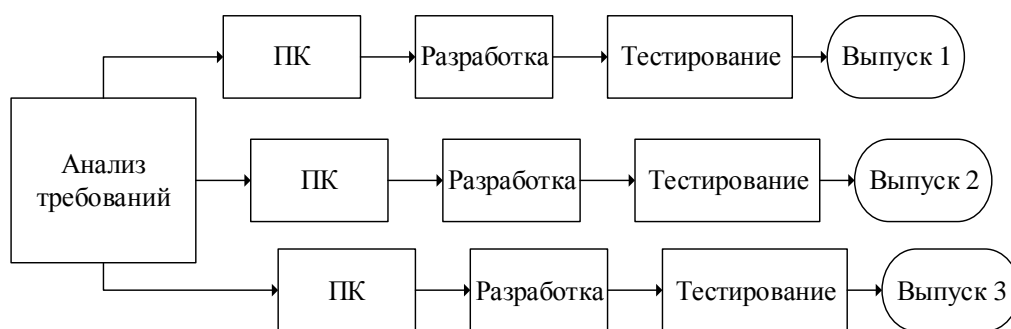


Рисунок 2.7 – Инкрементная модель ЖЦ ПК

Каждая промежуточная версия должна быть разработана с учетом требований к совокупности процессов, работ и задач.

Применение данной модели связано со следующими факторами риска:

- сформированная структура ПК может быть нарушена вследствие быстрого изменения технологий;
- при составлении требований не предусмотрен учет их возможных изменений при разработке ПК;
- затягивание срока сдачи полноценно функционирующего ПК в эксплуатацию вследствие ограничений ресурсного обеспечения.

Особенностью спиральной модели ЖЦ ПК (см. рисунок 2.8) является учет возможностей использования корректировок как в промежуточный продукт, так и во влияющие на него процессы. При решении вопросов о необходимости внесения изменений прежде всего учитывается необходимость удовлетворения потребностей пользователей. При этом, в случае выявления несоответствия между потребностями и реально функционирующим продуктом производится принятие решение о внесении изменений как в документацию, так и в сам ПК, учитывая при этом требования соответствующих стандартов.

В рамках данной модели предусмотрена возможность анализа ПК на каждом витке его разработки, а также проведение проверки оценки ключевых параметров качества, результаты оценки являются предпосылкой для перехода на следующий виток. Кроме того, в случае если параметры качества не соответствуют требованиям, модель располагает возможностью возврата на предыдущий виток для проведения соответствующей корректировки ПК.



Рисунок 2.8 – Спиральная модель ЖЦ ПК

Данное положение принципиально отличает эту модель от ранее рассмотренных.

В спиральной модели особое внимание уделяется управлению рисками. Спиральная модель состоит из четырех главных повторяющихся стадий. В ходе процесса разработки проект несколько раз проходит через все эти фазы. Каждая такая итерация называется спиралью. Четыре главные фазы это: определение целей, оценка и разрешение рисков, разработка и тестирование, планирование следующей итерации.

На первой стадии команда разработчиков формулирует цели проекта, основные требования. На каждой спирали разработки предусмотрена трансформация требований в соответствии с отзывами заказчика. В связи с этим, особую важность при реализации данной модели представляет осуществление соответствующей коммуникации между заказчиком и командой разработчиков.

Для работы на последующих спиральных модели необходимо осуществлять формирование требований, опираясь на отзывы заказчика ПК. В этой связи крайне важным представляется обеспечение возможностей постоянной коммуникации между разработчиками и непосредственно заказчиком ПК.

Вторая стадия является одной из самых значимых стадий разработки. В данном контексте риски — это возможные события и состояния проекта, препятствующие достижению командой разработчиков поставленных целей. Главной задачей для команды разработчиков является выявление рисков и их дальнейшая приоритезация с целью присвоения им определенного уровня значимости. Следующим шагом является разработка возможных стратегий преодоления этих рисков. В итоге этих действий возможны изменения в последующих стадиях разработки. В качестве результата работы на этом этапе создается прототип.

В фазе разработки происходит создание и последующее тестирование продукта. На первой итерации разрабатывается, так называемая, концепция будущего продукта. На последующих витках спирали рабочие версии продукта отправляются заказчику. Это позволяет получить более детальный отзыв и четче сформулировать требования.

При применении данной модели следует учитывать риски, связанные с нарушением сроков выполнения работ и планируемых ресурсов. В этой связи время, отводимое на каждую стадию ЖЦ ПК, должно быть строго регламентировано, а также должны жестко соблюдаться сроки перехода на каждую из стадий ЖЦ ПК в соответствии с планом.

Каждая из рассмотренных выше моделей содержит ряд достоинств и недостатков, которые в значительной степени определяют специфику сферы их использования. В таблице 2.1 приведена сравнительная характеристика приведенных моделей.

Значения «+» и «-» , представленные в таблице 2.1, не относятся к категории жестких требований. Так, например, незначительная модификация требований при разработке ПК с использованием каскадной модели вполне допустима, в то время как распространение промежуточного программного обеспечения при спиральной модели в ряде случаев может негативно отразиться на процессах внедрения и опытной эксплуатации ПК.

Таблица 2.1 – Анализ моделей ЖЦ ПК

Характеристики ПК	Модель		
	Каскадная	Инкрементная	Спиральная
Масштаб ПК	Малый и средний масштаб	Средний и крупный масштаб	Любой масштаб
Срок разработки ПК	До одного года	До нескольких лет	
Обязательное Формирование основных требований к разработке ПК	+	+-	-
Изменение требований в процессе разработки ПК	-	+-	+
Возможность итерационной разработки	-	+	+
Возможность распространения промежуточного варианта ПК	-	+-	+

Основной особенностью моделей, отражающих процесс разработки ПКОПД, является необходимость получения в качестве выходного параметра моделирования максимального значения комплексного показателя качества процесса разработки P_k при ограничениях на максимальные затраты и время выполнения процесса разработки. Модель должна предусматривать возможность анализа влияния отдельных факторов и параметров на данный

показатель, влияния важнейших параметров ЖЦ в зависимости от специфики работы ПК, а также учитывать условия его функционирования.

Условия функционирования ПКОПД можно представить в виде двух групп. К первой из них можно отнести условия, которые зависят от выбора параметров проектируемого программного комплекса, а ко второй – которые не зависят.

Модель процесса разработки ПКОПД, основанная на системном подходе, может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned}
 P_k &= P([\{\alpha\}_k], [\{\beta\}_k], [\{\gamma\}_k]) \rightarrow \max, \\
 [\{\alpha\}_k] &= [\{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \dots, \pi_s, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_r\}], \\
 [\{\beta\}_k] &= [\{\beta\}_k^h, \{\beta\}_k^o], \\
 [\{\gamma\}_k] &= [\{\gamma\}_k^h, \{\gamma\}_k^o], \\
 C_k &\leq C([\{\alpha\}_k]), \\
 T_k &\leq T([\{\alpha\}_k]),
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

где P_k – комплексный показатель качества процесса разработки ПКОПД, $[\{\alpha\}_k]$ – параметры ПКОПД, рассматриваемые на этапе разработки; $[\{\beta\}_k]$, $[\{\gamma\}_k]$ – соответственно, условия функционирования для первой и второй групп; π_i , τ_j – соответственно, проектный и тактический параметры разрабатываемого ПКОПД; $[\{\beta\}_k^h]$ и $[\{\beta\}_k^o]$ – диапазон характеристики функционирования, рассматриваемой в процессе разработки; C_k , T_k – соответственно, заданные стоимость и сроки разработки проекта. Тактические параметры определяют особенности применения, разрабатываемого ПКОПД.

Системный подход к построению модели разработки ПКОПД предполагает выделение соответствующих ее компонентов и анализ их взаимодействия, а также определение прямых и обратных связей между ними.

Предложенный комплексный показатель качества P_k характеризует в наиболее общей форме результативность процесса разработки ПКОПД.

2.4 Выводы по разделу 2

В разделе 2 рассмотрены основные методы повышения качества функционирования ПКОПД, которые основаны на анализе особенностей

топологии современных сетей передачи данных и учитывают их достоинства и недостатки. Приведены наиболее характерные способы обработки потерь, возникающих в процессе передачи данных.

Показано, что недостаточная проработанность требований к управлению качеством процесса разработки ПК обуславливает важность формирования моделей, характеризующих этот процесс, которые учитывают возможности использования надлежащих современных инструментальных и технологических решений.

Предложена модель качества функционирования ПКОПД, учитывающая характеристики современных сетей передачи данных, а также особенности работы алгоритмов восстановления визуальных данных.

Сформирована модель процесса разработки ПКОПД, которая основана на процессном подходе и в наиболее общей форме характеризует результативность его реализации.

3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

3.1 Базовые принципы восстановления визуальных данных в программных комплексах

Особенности методов восстановления изображений наиболее целесообразно рассмотреть с использованием базовых принципов, положенных в основу работы ПКОПД. Исходное изображение X подвергается блоковой обработке с целью формирования сжатого битового потока. Далее полученный поток передается с помощью сетевых пакетов по сетям связи. В процессе передачи данных в результате воздействия перегрузок или иных внешних факторов возможно возникновение потерь. Подобные потери могут привести к возникновению визуальных искажений в декодированных на приемной стороне данных. Модель описанной системы обработки и передачи данных приведена на рисунке 3.1.

Множество пикселей, формирующих искаженные регионы обозначим как Ω , а множество пикселей, свободных от влияния потерь как $\bar{\Omega}$. Под маскированием искажений будем понимать процесс восстановления значений искаженных пикселей из множества Ω , на основе анализа данных пикселей из множества $\bar{\Omega}$. Под $X(i,j)$ будем понимать пиксель изображения X , который находится на координатах i -ой строки и j -ого столбца, а под $\mathbf{V}(i,j)$ – будем понимать блок изображения размером $M \times M$, центральный пиксель которого расположен на координатах (i,j) .

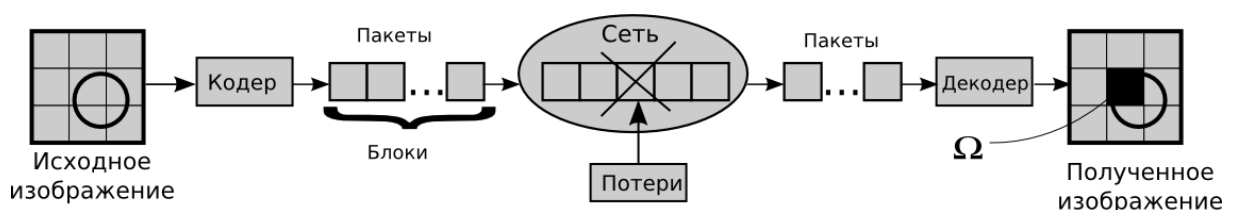


Рисунок 3.1 – Модель системы обработки и передачи данных

Базовые принципы маскирования искажений можно представить следующим образом [72].

1. Для проведения процедуры маскирования необходимо анализировать изображение X целиком. Восстановленная внутри региона Ω информация не должна нарушать логическую целостность неповреждённых данных.

2. Структура, содержащаяся внутри регионов, подвергнутых маскированию, должна отражать структуру неискаженных доступных данных. В большинстве случаев для этого требуется производить интерполяцию данных, которые являются контурами объектов в множестве $\partial\Omega$. С использованием $\partial\Omega$ и $\partial\bar{\Omega}$ обозначим подмножество пикселей из региона $\bar{\Omega}$ и региона Ω , соответственно, которые находятся на границе искаженных и неискаженных областей. Используемый алгоритм восстановления во многом определяет окончательный состав этого подмножества.

3. Восстановление цветовых значений пикселей, содержащихся в регионе $\bar{\Omega}$, должно производиться на основе анализа ближайших пикселей, окружающих искаженный регион.

4. В восстановленных данных должны быть отражены локальные особенности подлежащего обработке изображения X (например, текстура объектов).

В зависимости от того, как осуществляется учет основных принципов при маскировании искажений, можно выделить классы алгоритмов восстановления регионов изображений, базирующихся на следующих классах алгоритмов:

- структурные техники;
- шаблонные техники;
- гибридные техники.

Применение структурных техник основано на использовании процедуры, опирающейся на определенную априорную информацию, включающую данные о структурной составляющей искаженного блока. В большинстве случаев для

выявления такой информации требуется анализ блоков близлежащих к искаженному. Это позволяет отнести искаженных блоков к следующим видам:

- гладкие блоки;
- контурные блоки.

Среди методов, основанных на анализе структуры, можно выделить два основных подкласса:

- на базе взвешенного усреднения значений пикселей;
- на базе приоритетного восстановления контуров.

Методы, основанные на взвешанном усреднении значений пикселей, в большинстве случаев используется при восстановлении блоков гладкого вида. Типовым подходом является восстановление искаженного региона на основе усреднения значений неискаженных пикселей, находящихся на границе $\partial\bar{\Omega}$. Значения коэффициентов значимости находятся в обратной зависимости от расстояния между интерполируемым пикселем $X(k,r)$ и пикселями, значения которых известны.

Методы на основе взвешенного усреднения значений пикселей, как правило, применяются для восстановления блоков гладкого типа. Таким образом осуществляется восстановление искаженных пикселей путем взвешенного усреднения значений пикселей на границе $\partial\bar{\Omega}$. Значения весовых коэффициентов обратно пропорциональны расстоянию между интерполируемым пикселем $X(k,r)$ из искаженного блока $\mathbf{B}(i,j)$ и пикселями, значения интенсивности которых известны:

$$X(k,r) = \frac{\omega_R X(k, j-1) + \omega_L X(k, j+M) + \omega_T X(i+M, r) + \omega_B X(i-1, r)}{\omega_L + \omega_R + \omega_T + \omega_B}, \quad (3.1)$$

где ω_R , ω_L , ω_T и ω_B – расстояние от интерполируемого пикселя до близлежащих пикселей на границе блоков; $X(i-1, r)$, $X(k, j-1)$, $X(k, j+M)$ и $X(i+M, r)$ – значения близлежащих пикселей, которые расположены на границе искаженного блока в соответствующих направлениях; $M \times M$ – размеры искаженного блока.

Основной подход, реализованный в алгоритмах из шаблонного класса, основан на гипотезе о наличии повторяющихся фрагментов данных на

обрабатываемом изображении [90]. Такие фрагменты в дальнейшем будем называть шаблонами. В этом случае восстановление искаженного региона производится итеративно за счет копирования данных из шаблона, который является наиболее похожим. В большинстве случаев для методов этого класса характерно два основных этапа. На первом из них производится приоритезация пикселей $X(i,j)$ из $\partial\Omega$. Пиксель с наибольшим приоритетом выбирается в качестве центрального для строящегося в дальнейшем блока $\mathbf{B}(i,j)$. На последующем этапе, основываясь на выбранном критерии схожести, производится поиск наиболее подходящего блока $\mathbf{B}(k,l)$ $k \neq i, l \neq j$ из неискаженного набора данных $\bar{\Omega}$. Восстановление пикселей осуществляется за счет копирования значений из блока-донора на требуемых позициях. До тех пор, пока целевой регион Ω не будет восстановлен, изложенная процедура подлежит повторению.

В искаженном регионе изображения Ω может находиться как текстурная, так и структурная информация, причем с целью достижения наилучшего качества восстановления требуется осуществлять их последовательное восстановление, т.к. восстановление структурной информации является более приоритетной [87].

В рамках рассматриваемой ситуации используется подход, предусматривающий восстановление в первую очередь данных, характеризующих структуру искаженного региона Ω . Каждому пикселю $X(i,j)$ на границе $\partial\Omega$ выставляется приоритет обработки, основываясь на анализе блока с центральным пикселем $X(i,j)$. Функцию расстановки приоритетов можно определить как:

$$P(X(i,j))=C(X(i,j))*D(X(i,j)). \quad (3.2)$$

Функция состоит из двух сомножителей, первый из которых определяет уверенность в качестве восстановленных данных путем определения количества неискаженных пикселей к искаженным применительно к рассматриваемому блоку. Второй сомножитель содержит информацию о структурной составляющей обрабатываемого блока. Значение данного

сомножителя во многом определяется мощностью контура, пересекающего границу $\partial\Omega$.

Описанная функция расстановки приоритетов позволяет добиться восстановления в первую очередь границ объектов, после чего необходимо производить восстановление однородных блоков данных.

Важную роль среди алгоритмов, позволяющих осуществлять качественное восстановления обоих видов блоков, играет разреженное кодирование. Такие алгоритмы относятся к гибриднему классу алгоритмов.

С помощью разреженного кодирования возможно представлять исходный сигнал \mathbf{x} размерности N с помощью другого сигнала \mathbf{a} размерности K , где $K > N$. При этом в \mathbf{a} должно содержаться небольшое количество коэффициентов, отличных от нуля.

Обозначим как патч $\Psi(i,j)$ одномерное представление в виде вектора-столбца блока изображения, у которого в центре расположен пиксель $X(i,j)$.

Связь патча $\Psi(i,j)$ с блоком $\mathbf{B}(i,j)$ можно отобразить следующим соотношением:

$$\Psi(i, j) = \gamma(\mathbf{B}(i, j)), \quad (3.3)$$

где γ – функция обхода блока в сканирующем порядке.

Аналогичным образом, при использовании шаблонного метода восстановления алгоритм включает в себя два основных шага (см. рисунок 3.2):

- приоритезация патчей;
- их восстановление.

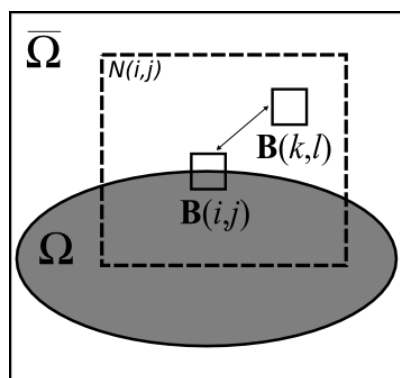


Рисунок 3.2 – Поиск блока-донора

При проведении процедуры расчета приоритета для произвольного патча определяется множество патчей-доноров $N(i,j)$ как

$$N(i,j) = \{\Psi(k,l) : |k-i| < r, |l-j| < r, \Psi(k,l) \in \bar{\Omega}\}, \quad (3.4)$$

где r – константа (радиус поиска), которая позволяет сформировать множество $N(i,j)$, состоящее из патчей из неискаженной области $\bar{\Omega}$, располагающихся не далее чем на r пикселей по горизонтали и вертикали от центрального пикселя целевого блока [104].

Функция расстановки приоритетов выглядит следующим образом:

$$P(\Psi(i,j)) = T_{[\zeta,1]} \left(\|\boldsymbol{\eta}_{(i,j)}\|_2 \sqrt{\frac{|N(i,j) * M^2|}{(2r+1)^2} * C(\Psi(i,j))} \right), \quad (3.5)$$

где $\boldsymbol{\eta}_{(i,j)}$ включает коэффициенты значимости, которые характеризуют схожесть между целевым патчем $\Psi(i,j)$ и патчами-донорами $\Psi(k,l) \in N(i,j)$, $|\cdot|$ – количество элементов множества, $\|\cdot\|_2$ – L2 норма вектора, M^2 – размерность патча, $C(\Psi(i,j))$ – функция расчета уверенности, $T_{[\zeta,1]}$ – функция, приводящая входные данные в необходимый диапазон $[\zeta, 1]$.

Для обеспечения восстановления искаженного патча необходимо осуществлять линейную комбинацию из нескольких наиболее схожих патчей. Оценка влияния количества используемых для аппроксимации патчей, а также выбор метода расчета $\boldsymbol{\eta}_{(i,j)}$ приведены в [120].

В случае, если по результатам расчета функции $P(\Psi(i,j))$ выдает высокое значение, то это свидетельствует о том, что данный патч относится к классу структурных, а его представление является сильно разреженным [102]. Следует отметить, что применительно к текстурным патчам результаты расчета показывают низкие значения указанной функции.

В зависимости от применяемого геометрического подхода для интерполяции пикселей искаженного региона можно выделить следующие разновидности моделей:

- 1) основанные на полной вариации;
- 2) основанные на сегментации;
- 3) основанные на использовании управляемых кривых.

Для последующего анализа геометрического подхода к восстановлению изображений введем следующие обозначения:

Ω - множество неискаженных пикселей,

D - регион, состоящий из множества пикселей, требующих восстановления;

Γ - границы рассматриваемого искаженного региона;

E - граничащий с искаженным регионом зашумленный регион.

Тогда Γ можно описать следующим образом: $\Gamma = E \cup D$ (см. рисунок 3.3)

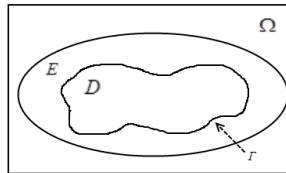


Рисунок 3.3 – Геометрическая модель изображения

К числу основных задач, решаемых при реализации модели, основанной на полной вариации, можно отнести подбор функции u , описывающей рассматриваемый регион $E \cup D$ [81, 108]. Ее основная роль – минимизация следующей непрерывной функции:

$$R[u] := \int_{E \cup D} r(|\nabla u|) dx dy \quad (3.6)$$

с учетом влияния шума на E :

$$\frac{1}{Area(E)} \int_E |u - u^0| dx dy = \sigma^2, \quad (3.7)$$

где $Area(E)$ - мощность множества E ;

r - функция, которая принимает неотрицательные значения, если ее аргумент неотрицателен;

u^0 - функция, которая описывает изображение в окрестностях региона D ;

σ - дисперсия белого Гауссовского шума.

Принимая во внимание представленные выражения, а также методики, описанные в [101], можно сделать вывод, что минимизации энергии сигнала является важнейшей задачей, требующей решения при использовании рассматриваемой модели

$$J[u] = \int_{E \cup D} |\nabla u| dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_E |u - u^o|^2 dx dy, \quad (3.8)$$

где λ — маска восстановления изображения [112].

При реализации модели, основанной на сегментации данных, изображение рассматривается как совокупность двумерных объектов, обладающих общими границами. При этом как на объекты, так и на их границы устанавливаются более строгие ограничения по сравнению с ранее рассмотренной моделью:

$$R[u] = \int_{\Omega \setminus \Gamma} r(|\nabla u|, |\Delta u|) dx dy + \mu \text{length}(\Gamma), \quad (3.9)$$

где $\mu \cdot \text{length}(\Gamma)$ - оценочная характеристика значения меры Хаусдорфа [95].

Использование данной модели предполагает решение следующей задачи, необходимой для минимизации мощности искаженного сигнала:

$$J[u, \Gamma] = \int_{\Omega \setminus \Gamma} r(|\nabla u|, |\Delta u|) dx dy + \mu \text{length}(\Gamma) + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega \setminus D} |u - u^o|^2 dx dy. \quad (3.10)$$

К числу недостатков обеих моделей следует отнести нарушение в ходе их работы принципа соединения, которое лежит в основе модели человеческого зрения. Модели, использующей свойства управляемых кривых, данный недостаток не присущ. Для ее реализации требуется решение следующей задачи:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot \left[\frac{G(k, x)}{|\nabla u|} \nabla u \right] + \lambda(u^0 - u), \quad x \in \Omega, \quad (3.11)$$

где k - коэффициент кривизны кривой.

По сравнению с моделью полной вариации уточнение аппроксимации искаженного сигнала с помощью рассматриваемой модели достигается за счет

применения коэффициента $G(k, x)$, учитывающего распространения сигнала, определяемого по формуле:

$$G(k, x) = \begin{cases} 1, & x \in \Omega \setminus D, \\ g(|k|), & x \in D. \end{cases} \quad (3.12)$$

Применительно к рассматриваемой функции $g(s)$ в работе показано, что рассматриваемая модель способствует созданию связанных контуров, что и обеспечивает выполнение принципа соединения.

3.2 Разработка алгоритмов восстановления, использующих разреженное представление данных

Рассмотрим задачу разложения сигнала по заданному базису. Введем в рассмотрение вещественный одномерный дискретный сигнал $\check{y} \in \mathfrak{R}^n$ конечной длины. Введем также в рассмотрение избыточный базис $\mathbf{D} \in \mathfrak{R}^{n \times k}$ ($k > n$), содержащий K столбцов $\{\mathbf{d}_j\}_{j=1}^k$. Такой избыточный базис \mathbf{D} будем называть *словарем*, а вектора $\{\mathbf{d}_j\}_{j=1}^k$, содержащиеся в нем, атомами. Количество атомов k , содержащихся в словаре \mathbf{D} , превышает размерность n разлагаемого сигнала \check{y} . Таким образом, в нем содержатся не только ортогональные базисы, но также и набор векторов, каждый из которых представляет собой их линейную комбинацию.

Будем полагать, что вектор $\check{\alpha} \in \mathfrak{R}^{k \times 1}$ является представлением сигнала \check{y} в трансформированной области, определяемой словарем \mathbf{D} , а значит, он содержит коэффициенты линейной комбинации нескольких атомов \mathbf{d}_j . При этом, если в $\check{\alpha}$ содержится небольшое количество ненулевых коэффициентов s ($s \ll n$), то принято полагать, что $\check{\alpha}$ является разреженным представлением сигнала \check{y} .

Рассматривать можно как задачу получения точного разложения вектора \check{y} , и в этом случае $\check{y} = \mathbf{D}\check{\alpha}$, так и задачу расчета некоторой аппроксимации $\check{y} \approx \mathbf{D}\check{\alpha}$ [85]. При расчете аппроксимации, точность разложения, как правило, оценивается путем расчета l_2 -нормы разностного вектора:

$$\|\check{y} - \mathbf{D}\check{\alpha}\|_2 \leq \varepsilon, \quad (3.13)$$

где ε - пороговая величина, а $\|\cdot\|_2 - l_2$ - норма n -мерного вектора, которая рассчитывается следующим образом:

$$\|\hat{\mathbf{y}}\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i^2}, \quad (3.14)$$

где \hat{y}_i - компонента вектора $\hat{\mathbf{y}}$ на i -ой позиции.

Таким образом, для нахождения вектора $\hat{\mathbf{a}}$, содержащего наименьшее количество ненулевых коэффициентов, следует решать следующую оптимизационную задачу:

$$\hat{\mathbf{a}} = \arg \min_{\mathbf{a}} \|\mathbf{a}\|_0 : \|\mathbf{y} - \mathbf{D}\mathbf{a}\|_2 \leq \varepsilon, \quad (3.15)$$

где $\|\cdot\|_0$ - обозначает l_0 - норму, которая численно равна количеству ненулевых коэффициентов в векторе. Строго говоря, l_0 принято считать квази-нормой, поскольку она не удовлетворяет условию однородности, однако это понятие является широко используемым в литературе [10, 74].

Следует отметить, что задача оптимизации l_0 -нормы не является выпуклой и вычислительные процедуры, требуемые для ее решения, являются NP - сложными. В связи с этим, как правило, осуществляется переход к задаче оптимизации выпуклой функции, путем перехода от l_0 -нормы, к l_1 -норме.

Решая модифицированную таким образом приведенную оптимизационную задачу, с высокой вероятностью можно получить разреженное представление сигнала, воспользовавшись, например, методом выбора базиса (basis pursuit [82]) [10].

Рассмотрим типовой метод обучения словаря K-SVD, [74], который во многом основан на принципах, используемых алгоритмом кластеризации данных K-means [98].

Обозначим за $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ вектор-столбец, содержащий значения интенсивностей пикселей, формирующих квадратный $\sqrt{n} \times \sqrt{n}$ блок, верхний левый пиксель которого имеет координаты (i, j) на изображении \mathbf{x} . В дальнейшем будем называть $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ патчем изображения. Формирование одномерного вектора

осуществляется путем обхода соответствующего квадратного блока в сканирующем порядке.

В дальнейшем будем полагать, что рассматриваемое изображение $\mathbf{x} \in \mathcal{R}^{N \times 1}$, также как и патчи $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x} \in \mathcal{R}^{n \times 1}$ представлены в виде вектора-столбца. Это означает, что $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ можно рассматривать как результат умножения бинарной матрицы $\mathbf{R}_{ij} \in \mathcal{R}^{n \times N}$ на вектор \mathbf{x} . При этом в каждой строке матрицы \mathbf{R}_{ij} находится только один ненулевой элемент, что позволяет с каждым перемножением строки матрицы \mathbf{R}_{ij} на вектор \mathbf{x} извлекать одно значение пикселя на соответствующей позиции в патче $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$.

Алгоритм K-SVD применяет итеративную процедуру для последовательного обновления атомов начального (инициализирующего) словаря. Инициализирующий словарь может состоять из патчей, собранных непосредственно с обрабатываемого изображения, базисных векторов, преобразования, например, дискретно-косинусного или вейвлет преобразования. Для инициализации может быть также использован так называемый глобальный словарь, сформированный в результате обработки патчей с множества изображений.

Итеративность алгоритма K-SVD заключается в последовательном переключении между этапом разреженного кодирования и этапом обновления словаря. Для обеспечения сходимости алгоритма после обновления словаря для каждого патча $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ производится обновление соответствующего вектора $\hat{\mathbf{a}}_{ij}$, содержащего коэффициенты разреженного представления [74].

Таким образом, каждая итерация алгоритма K-SVD содержит два основных этапа:

- этап разреженного кодирования патчей $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$;
- этап обновления атомов словаря \mathbf{D} .

Рассмотрим обобщенно приведенные этапы алгоритма. На первом этапе каждому патчу $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ ставится в соответствие вектор $\hat{\mathbf{a}}_{ij}$, содержащий малое

количество ненулевых коэффициентов ($\|\alpha_{ij}\|_0 \ll n$). Для расчёта аппроксимации требуемой точности $\mathbf{D}\hat{\alpha}_{ij}$ вектора $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ следует решать следующую оптимизационную задачу:

$$\hat{\alpha}_{ij} = \arg \min_{\alpha_{ij}} \|\alpha_{ij}\|_0 : \|\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x} - \mathbf{D}\alpha_{ij}\|_2^2 \leq \varepsilon. \quad (3.16)$$

Задача получения разреженного представления $\hat{\alpha}_{ij}$ исходного сигнала $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ является NP-трудной [84], поэтому, как правило, она решается с помощью подоптимальных алгоритмов таких как метод выбора базиса [82]), метод ортогонального разложения [104] и прочих.

На втором этапе проводится последовательное обновление атомов словаря \mathbf{D} , а также коэффициентов разреженного представления, содержащихся в векторах $\hat{\alpha}_{ij}$. Целью этого этапа является увеличение точности аппроксимации патчей $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$, не повышая при этом количества ненулевых коэффициентов в векторах $\hat{\alpha}_{ij}$. Таким образом, следует минимизировать величину, определяемую следующим выражением:

$$\sum_{ij} \|\mathbf{D}\hat{\alpha}_{ij} - \mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}\|_2^2. \quad (3.17)$$

Подход к решению приведенной задачи основывается на использовании свойств сингулярного разложения матриц (SVD [115]).

Алгоритм K-SVD предусматривает K итераций повторения пары этапов, после завершения которых каждому патчу $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ ставится в соответствие его разреженное представление $\hat{\alpha}_{ij}$.

На этапе разреженного кодирования производится представление патчей $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ в разреженном виде путем разложения по зафиксированному словарю \mathbf{D} . Один из подходов к решению этой NP-сложной задачи заключается в применении подоптимальных алгоритмов. Таким типовым алгоритмом является метод ортогонального разложения. Рассмотрим шаги алгоритма этого алгоритма более подробно.

Алгоритм ОМР является "жадным" итеративным алгоритмом, работа которого задается двумя основными параметрами:

- m - задает максимальное количество итераций алгоритма;
- ε - определяет допустимую ошибку аппроксимации.

Обозначим за $\gamma_{ij}^t \in \mathcal{R}^{n \times 1}$ вектор, соответствующий невязке аппроксимации патча $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ на итерации под номером t . На шаге инициализации (при $t=0$) вектор γ_{ij}^0 полагается равным исходному разлагаемому патчу $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$. На каждой итерации производится поиск атома \mathbf{d}_l наиболее похожего на разлагаемый вектор γ_{ij}^t с точки зрения скалярного произведения. Индекс такого атома определяется следующим выражением:

$$l = \arg \max_{r \in \{1, k\}} (\langle \gamma_{ij}^t, \mathbf{d}_r \rangle), \quad (3.18)$$

где $\langle \cdot \rangle$ - обозначает операцию скалярного произведения векторов.

Обозначим за $\alpha_{ij}(l)$ - величину коэффициента вектора \mathbf{a}_{ij} , расположенного на позиции с индексом l . Следующим шагом итерации является расчет коэффициента $\alpha_{ij}(l)$, характеризующего вклад выбранного атома \mathbf{d}_l в представление разлагаемого вектора γ_{ij}^t . Коэффициент $\alpha_{ij}(l)$ рассчитывается как скалярное произведение вектора γ_{ij}^t и атома \mathbf{d}_l :

$$\alpha_{ij}(l) = \langle \gamma_{ij}^t, \mathbf{d}_l \rangle. \quad (3.19)$$

Далее производится расчет обновленной невязки аппроксимации γ_{ij}^{t+1} :

$$\gamma_{ij}^{t+1} = \gamma_{ij}^t - \alpha_{ij}(l) * \mathbf{d}_l. \quad (3.20)$$

В случае достижения в конце итерации допустимой ошибки аппроксимации алгоритм завершается, и вектор \mathbf{a}_{ij} является окончательно сформированным.

В противном случае, если максимально допустимое количество итераций m не превышено, то итерация под номером t завершается и на новой $t+1$ итерации производится разложение обновленной невязки аппроксимации γ_{ij}^{t+1} .

Таким образом, выходом алгоритма является вектор α_{ij} , который способен аппроксимировать патч $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ с требуемой точностью (выход по достижении ошибки аппроксимации), либо, содержащий ровно m ненулевых коэффициентов (в случае выхода из алгоритма по количеству итераций).

На этапе обновления словаря производится последовательное обновление атомов \mathbf{d}_l ($1 \leq l \leq k$) словаря \mathbf{D} вместе с соответствующими им коэффициентами $\alpha_{ij}(l)$ для повышения точности аппроксимации (с точки зрения l_2 нормы) патчей $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ в разложении которых они используются. При обновлении атома \mathbf{d}_l вначале формируется множество ω_l , которое состоит из патчей в аппроксимации которых атом \mathbf{d}_l принимает непосредственное участие (т.е. его вклад не равен 0). Таким образом, множество ω_l можно задать следующим выражением:

$$\omega_l = \{\alpha_{ij} : \alpha_{ij}(l) \neq 0\}. \quad (3.21)$$

Для каждого патча $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ из ω_l рассчитывается вектор $\mathbf{e}_{ij}^l \in \mathcal{R}^{n \times 1}$, характеризующий значимость атома \mathbf{d}_l в представлении патча $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$. Вектор \mathbf{e}_{ij}^l также можно рассматривать как ошибку аппроксимации патча $\mathbf{R}_{ij}\mathbf{x}$ без учета вклада атома \mathbf{d}_l , что позволяет его строить следующим образом:

$$\mathbf{E}_{ij}^l = \mathbf{R}_{ij}\mathbf{x} - \mathbf{D}\alpha_{ij} + \mathbf{d}_l\alpha_{ij}(l). \quad (3.22)$$

Обозначим за N_l – количество патчей в разложении которых атом \mathbf{d}_l принимает непосредственное участие, а за $\mathbf{E}_l \in \mathcal{R}^{n \times N_l}$ матрицу ошибок, составленную из векторов-столбцов \mathbf{e}_{ij}^l . Обозначим за $\alpha^l \in \mathcal{R}^{1 \times N_l}$ вектор-строку, содержащий коэффициенты $\alpha_{ij}(l)$, отражающие вклад атома \mathbf{d}_l в представление патчей множества ω_l . Задача заключается в обновлении атома \mathbf{d}_l , а также вектора α^l таким образом, чтобы суммарная ошибка аппроксимации патчей была минимальна. В связи с этим можно сформулировать следующую оптимизационную задачу:

$$(\hat{\mathbf{d}}_l, \hat{\alpha}^l) = \arg \min_{\alpha^l} \sum_{ij} \|\mathbf{E}_l - \mathbf{d}_l\alpha^l\|_F^2, \quad (3.23)$$

где $\hat{\mathbf{d}}_1$ - обновленный атом \mathbf{d}_1 , $\hat{\mathbf{a}}^1$ - обновленный вектор коэффициентов, а $\|\cdot\|_F$ - норма Фробениуса, которая для произвольной матрицы \mathbf{A} рассчитывается следующим образом:

$$\|\mathbf{A}\|_F = \sqrt{\sum_{ij} A_{ij}^2}, \quad (3.24)$$

где A_{ij} – элемент матрицы, расположенный на пересечении i -го столбца и j -ой строки.

Один из подходов к решению задачи минимизации нормы Фробениуса, а значит и представленной оптимизационной задачи, заключается в применении сингулярного разложения матрицы \mathbf{E}_1 :

$$\mathbf{E}_1 = \mathbf{U}\mathbf{\Lambda}\mathbf{V}^T, \quad (3.25)$$

где $\mathbf{\Lambda}$ – матрица размера $n \times N_l$, содержащая нули на всех позициях кроме главной диагонали, элементами которой являются сингулярные числа, а обе матрицы – \mathbf{U} размера $n \times n$ и \mathbf{V} размера $N_l \times N_l$ являются унитарными и содержат соответственно левые и правые сингулярные вектора.

В качестве обновленного атома $\hat{\mathbf{d}}_1$ выбирается первый столбец матрицы \mathbf{U} . Обновленный вектор коэффициентов $\hat{\mathbf{a}}^1$ рассчитывается как произведение первого столбца матрицы \mathbf{V} на наибольшее сингулярное число из матрицы $\mathbf{\Lambda}$.

Описанная схема обновления атомов словаря, а также матрицы коэффициентов приведена на рисунке. 3.4.

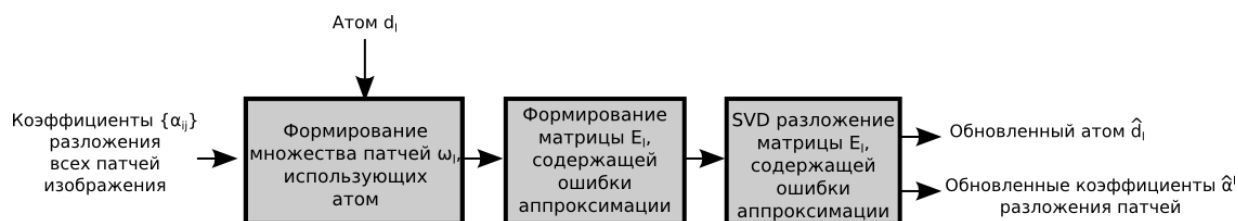


Рисунок 3.4 – Схема обновления атомов словаря и матрицы коэффициентов

Задачу восстановления искаженных регионов изображений можно рассматривать как частный случай задачи фильтрации. В этом случае недоступные или потерянные пиксели обрабатываемого изображения можно

рассматривать как пиксели, подвергнутые влиянию Гауссовского шума с очень большим параметром среднеквадратичного отклонения σ . В связи с этим, рассмотрим особенности применения разреженного кодирования в задаче фильтрации Гауссовского шума.

Рассмотрим изображение \mathbf{y} , полученное в результате воздействия аддитивного белого Гауссовского шума с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратичным отклонением σ на исходное изображение \mathbf{x} . В работе [74] был предложен подход к задаче фильтрации с применением алгоритма K-SVD.

Авторы предлагают производить фильтрацию каждого патча зашумленного изображения \mathbf{y} , решая следующую оптимизационную задачу:

$$\hat{\mathbf{a}}_{ij} = \arg \min_{\mathbf{a}_{ij}} \|\mathbf{a}_{ij}\|_0 : \|\mathbf{D}\mathbf{a}_{ij} - \mathbf{R}_{ij}\mathbf{y}\|_2^2 \leq \varepsilon, \quad (3.26)$$

где ε – порог, определяющий точность аппроксимации патчей, зависящий от параметра шума σ .

Следует отметить, что при поиске решения представленной оптимизационной задачи, ограничение, содержащееся в ней, можно учесть, введя в рассмотрение штрафное слагаемое μ :

$$\hat{\mathbf{a}}_{ij} = \arg \min_{\mathbf{a}_{ij}} \|\mathbf{D}\mathbf{a}_{ij} - \mathbf{R}_{ij}\mathbf{y}\|_2^2 + \mu \|\mathbf{a}_{ij}\|_0, \quad (3.27)$$

где μ - весовой коэффициент, определяющий важность степени разреженности вектора \mathbf{a}_{ij} . Как было показано в [82] отфильтрованный патч $\mathbf{R}_{ij}\hat{\mathbf{x}}$ на соответствующей позиции изображения $\hat{\mathbf{x}}$ можно синтезировать следующим образом:

$$\mathbf{R}_{ij}\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{D}\hat{\mathbf{a}}_{ij}. \quad (3.28)$$

Для фильтрации всего изображения \mathbf{y} целиком следует рассматривать следующую оптимизационную задачу:

$$\{\hat{\mathbf{x}}, \hat{\mathbf{a}}\} = \arg \min_{\tilde{\mathbf{x}}, \mathbf{a}} \lambda \|\tilde{\mathbf{x}} - \mathbf{y}\|_2^2 + \sum_{ij} \mu_{ij} \|\mathbf{a}_{ij}\|_0 + \sum_{ij} \|\mathbf{D}\mathbf{a}_{ij} - \mathbf{R}_{ij}\mathbf{y}\|_2^2, \quad (3.29)$$

где $\hat{\mathbf{a}} \in \mathcal{R}^{k \times N_p}$ - матрица, состоящая из векторов-столбцов \mathbf{a}_{ij} , сформированных для всех N_p патчей, собранных с зашумленного изображения \mathbf{y} , которые в свою очередь могут пересекаться.

Рассмотрим один из способов нахождения подоптимального решения представленной оптимизационной задачи. Изначально, для нахождения коэффициентов векторов $\hat{\mathbf{a}}_{ij}$, формирующих матрицу $\hat{\mathbf{a}}$, изображение $\tilde{\mathbf{x}}$ полагается равным \mathbf{y} . В таком случае рассматриваемую задачу можно разбить на несколько независимых подзадач, которые можно решить для каждого патча независимо:

$$\hat{\mathbf{a}}_{ij} = \arg \min_{\mathbf{a}_{ij}} \|\mathbf{D}\mathbf{a}_{ij} - \mathbf{R}_{ij}\tilde{\mathbf{x}}\|_2^2 + \mu_{ij} \|\mathbf{a}_{ij}\|_0. \quad (3.30)$$

На следующем этапе фиксируются полученные коэффициенты $\hat{\mathbf{a}}_{ij}$, и происходит обновление изображения $\hat{\mathbf{x}}$:

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg \min_{\tilde{\mathbf{x}}} \lambda \|\tilde{\mathbf{x}} - \mathbf{y}\|_2^2 + \sum_{ij} \|\mathbf{D}\hat{\mathbf{a}}_{ij} - \mathbf{R}_{ij}\tilde{\mathbf{x}}\|_2^2. \quad (3.31)$$

Синтез отфильтрованного изображения $\hat{\mathbf{x}}$ осуществляется путем усреднения значений пикселей отфильтрованных патчей на соответствующих позициях.

Для решения представленной оптимизационной задачи, следует применять итеративную процедуру, на каждой итерации которой происходит обработка изображения $\hat{\mathbf{x}}$, полученного на выходе предыдущей итерации. При этом в конце каждой итерации может производиться обновление атомов словаря согласно процедуре, описанной выше. В таком случае окончательную оптимизационную задачу можно представить следующим образом:

$$\{\hat{\mathbf{D}}, \hat{\mathbf{x}}, \hat{\mathbf{a}}\} = \arg \min_{\mathbf{D}, \tilde{\mathbf{x}}, \mathbf{a}} \lambda \|\tilde{\mathbf{x}} - \mathbf{y}\|_2^2 + \sum_{ij} \mu_{ij} \|\mathbf{a}_{ij}\|_0 + \sum_{ij} \|\mathbf{D}\mathbf{a}_{ij} - \mathbf{R}_{ij}\mathbf{y}\|_2^2, \quad (3.32)$$

где $\hat{\mathbf{D}}$ - словарь, обновляемый на каждой итерации алгоритма.

Рассмотрим задачу восстановления регионов изображения с применением алгоритма K-SVD более подробно.

С целью более эффективного восстановления недоступных пикселей изображения в описанную выше процедуру фильтрации изображения следует внести ряд модификаций, затрагивающих:

- способ расчета скалярного произведения;
- алгоритм расчета разреженного представления патчей;
- этап обновления словаря.

В операции расчёта скалярного произведения следует учитывать, что значения некоторых пикселей неизвестны:

$$\langle x, y \rangle = ((R_{ij}\beta) \otimes (R_{ij}x))^T ((R_{ij}\beta) \otimes (R_{ij}y)), \quad (3.33)$$

где $\beta \in \mathcal{R}^{n \times 1}$ - вектор, содержащий значение 1 на позициях, в которых значение пикселей в патчах известно, и значение 0 - на позициях, в которых значение интенсивности пикселя недоступно, а символ \otimes - обозначает операцию поэлементного умножения.

На этапе разреженного кодирования вместо остановки процесса разложения вектора по достижению требуемой ошибки аппроксимации ϵ , производится фиксированное количество итераций. Таким образом, разреженное представление патча изображения состоит из линейной комбинации фиксированного количества атомов словаря \mathbf{D} .

Этап обновления атомов словаря \mathbf{D} , модифицируется с целью избавления от учета значений неизвестных пикселей:

$$(\hat{\mathbf{d}}_1, \hat{\alpha}^1) = \arg \min_{\alpha^1} \sum_{ij} \|\beta^i \otimes (\mathbf{E}_1 - \mathbf{d}_1 \alpha^1)\|_F^2, \quad (3.34)$$

где $\beta^i \in \mathcal{R}^{n \times N_i}$ - матрица, содержащая значение 1 на позициях, в которых значение пикселей в патчах известно, и значение 0 - на позициях, в которых значение интенсивности пикселя недоступно.

Схема описанного алгоритма восстановления, основанного на разреженном кодировании данных, приведена на рисунке 3.5.

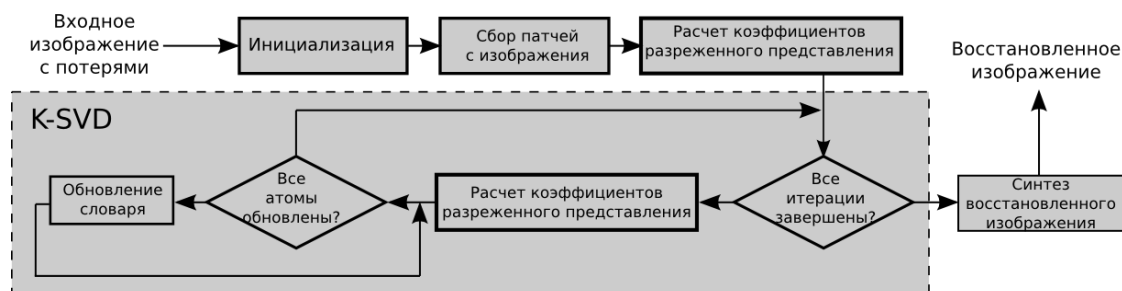
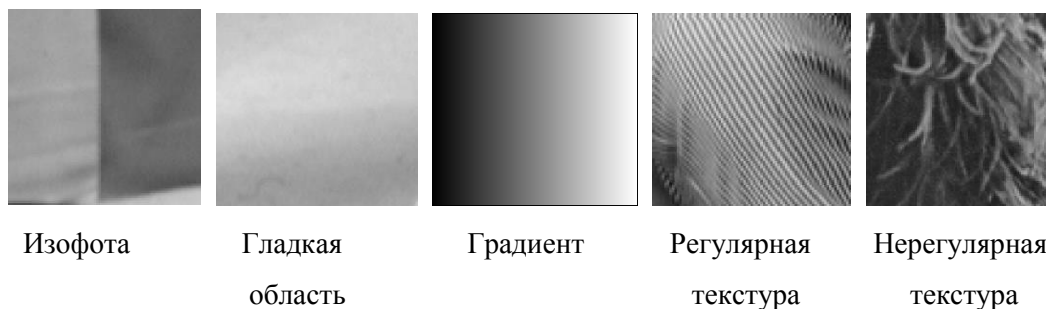


Рисунок 3.5 – Схема алгоритма восстановления, основанного на разреженном представлении данных

В рамках диссертационного исследования был осуществлен анализ эффективности работы рассмотренных алгоритмов маскирования искажений применительно к различным типам регионов визуальных данных. По отношению к выделенным типам регионов были выявлены наиболее рациональные методы восстановления визуальных данных.

Примеры типов рассматриваемых регионов изображений приведены на рисунке 3.6.



Изофота

Гладкая
область

Градиент

Регулярная
текстураНерегулярная
текстура

Рисунок 3.6 – Типы регионов визуальных данных

Алгоритмы, основанные на использовании свойств управляемых кривых, также как и алгоритмы, основанные на полной вариации функций, нацелены на приоритетное восстановление контуров, что позволяет отнести их к соответствующей категории структурных методов.

В таблице 3.1 представлены полученные оценочные характеристики результативности восстановления искаженных регионов различных типов. При

этом использованы следующие обозначения, характеризующие качество восстановления:

- результат А соответствует полному отсутствию серьезных визуальных искажений в подавляющем числе экспериментов;
- результат В свидетельствует, что в большинстве экспериментов восстановленные регионы не содержат серьезных визуальных искажений;
- результат С характеризуется восстановлением без серьезных визуальных искажений лишь в некоторых экспериментах;
- результат D относится к случаям восстановления с заметными визуальными искажениями в большинстве экспериментов.

Таблица 3.1 – Сравнительный анализ результативности восстановления регионов визуальных данных

Класс алгоритмов	Методы восстановления	Тип региона				
		Изофота	Гладкая область	Градиент	Регулярная текстура	Нерегулярная текстура
Структурные методы	Взвешенное усреднение	С	А	А	Д	Д
	Направленное восстановление контуров	А	А	А	С	Д
Геометрический метод	На базе сегментации	А	А	С	А	Д
Шаблонные методы	Глобальный поиск	С	А	В	А	А
	Локальный поиск	С	А	В	А	В
Гибридный метод	Разреженное кодирование	В	А	А	А	С

3.3 Влияние процесса разработки на качество программных комплексов

Качество программного комплекса в значительной степени зависит от количества допущенных «ошибок» в процессе его разработки. Если программное обеспечение содержит критически значимые дефекты, то основное требование обеспечения желаемой функциональности не

выполняется. Таким образом, ошибки определяют степень соответствия разработанного продукта поставленным требованиям.

Примерами количественной оценки качества разработанного ПК являются такие характеристики, как плотность дефектов (например, количество дефектов на миллион строк исходного кода, на каждую функциональную точку или другую единицу), надежность (например, количество отказов в единицу времени, среднее время на отказ или вероятность безотказной работы за указанный период времени).

Не менее важной характеристикой разработанного ПО является оценка степени удовлетворенности его потребителей, которую можно измерить процентным соотношением удовлетворенных и неудовлетворенных пользователей [1]. С целью уменьшения предвзятости возможно применение таких методов, как слепые опросы (интервьюер не знает пользователя, а пользователь не знает компанию, которую представляет интервьюер). В дополнение к этому предприятия-производители ПК могут вводить собственные критерии оценки различных атрибутов программного комплекса.

Для управления качеством ПК необходимо учитывать атрибуты качества на этапах планирования и проектирования. Однако эти атрибуты качества не всегда конгруэнтны друг другу. Например, чем выше функциональная сложность программного обеспечения, тем сложнее добиться простоты его дальнейшей поддержки. В зависимости от типа программного обеспечения и потенциальных пользователей необходимо выставлять приоритеты различным атрибутам качества. При этом возможны различные взаимоотношения между атрибутами качества в зависимости от прикладной задачи использования ПК. Следует отметить, что возможности функционирования и поддержки разработанного ПК во многом определяются качеством процесса его разработки, который, в свою очередь, состоит из ряда подпроцессов. Таким образом, управление качеством разработки ПК, отвечающего требованиям пользователей, является актуальной и сложной задачей.

Недостаточная проработанность требований к управлению качеством процесса разработки обуславливает важность формирования моделей, характеризующих этот процесс, которые учитывают возможности использования надлежащих современных инструментальных и технологических решений. Это приводит к тому, что необходимо исследование методов оценки показателей качества разработки ПК, позволяющих обеспечить удовлетворение требований пользователей.

Способность измерения показателей качества процесса разработки ПК во многом определяет возможности его дальнейшего применения и поддержки. В общем случае управление качеством процесса осуществляется посредством наблюдений, измерений и обобщений, а также путем последующего выдвижения гипотез, которые в дальнейшем с помощью тестирования подтверждаются или опровергаются.

После завершения процедуры формирования требований, процесс разработки можно представить в виде набора следующих основных этапов:

- разработка архитектуры проекта;
- программирование;
- модульное тестирование;
- инспектирование кода;
- интеграционное тестирование;
- приемочное тестирование;
- тестирование на пользователях.

Интеграция - это фаза разработки, в ходе которой различные разрозненные части и компоненты объединяются с целью формирования единого полноценно функционирующего ПК. Как правило, после фазы интеграции дальнейшее развитие продукта осуществляется с помощью формальных изменений. В этой связи, после прохождения фазы интеграции, каждое изменение программного обеспечения должно иметь определенную причину (например, исправление ошибки, обнаруженной во время тестирования или эксплуатации) и должно быть тщательно документировано,

согласно требований, представленных в ГОСТ 2.601-2013 [33], ГОСТ Р 51904-2002 [36], а также ГОСТ Р ИСО/МЭК 15910-2002 [37].

Одним из важнейших этапов разработки ПК является тестирование. Это связано с тем, что оно оказывает серьезное влияние на качество продукта в целом. На основе текущей оценки качества ПК можно спрогнозировать количественные характеристики возникновения дефектов в будущем, оценить среднее время до проявления очередного дефекта и пр.

В соответствии с вышеизложенным особую важность представляют вопросы исследования моделей управления качеством разработки ПК и метрик оценки соответствующих процессов. Использование таких моделей должно способствовать как можно более раннему получению информации о потенциально возникающих рисках для того, чтобы иметь возможность своевременно спланировать и внедрить меры по улучшению соответствующих процессов.

Для того, чтобы модель управления качеством разработки ПК была полезной для предприятия, необходимо, чтобы она охватывала все этапы разработки, начиная с самых начальных. В противном случае возрастает риск ситуации, в которой планирование и внедрение изменений не представляется возможным ввиду недостаточного времени, требуемого для их осуществления.

3.4 Разработка метода тестирования для снижения рисков при разработке программных комплексов

В процессе разработки ПК важную роль играет учет возникающих рисков. В общем случае риск угрожает успешности достижения поставленным для ПК целям и в случае его наступления приводит к определенным потерям. В этой связи анализ рисков во многом определяет, что и в каких объемах необходимо подвергать тестированию в процессе разработки.

Потери, вызванные воздействием рисков, могут выражаться в виде напрасных временных затрат, связанных с простоем системы, финансовых потерь, технических повреждений и пр. Специфика ПК во многом определяет

выбор набора рисков, характерных для его использования. Ввиду наличия большого числа потенциальных рисков важной задачей является процедура выставления приоритетов их важности. Приоритет выставляется на основе оценки двух компонент: вероятности возникновения риска, а также серьезности последствий, которые наступят в случае его появления. С точки зрения риск-ориентированного мышления необходимо уделять наибольшее внимание компонентам системы, с которыми связаны наиболее приоритетные риски. Это позволяет минимизировать последствия сбоев ПК в процессе их эксплуатации.

Риски можно условно разделить на три большие группы: проектные, бизнес-логики, а также технические.

Проектные риски во многом связаны с менеджерскими задачами, например, подбор квалифицированного обслуживающего персонала для ПК. Риски этой группы достаточно сложно минимизировать с использованием средств тестирования.

Во вторую группу входят риски, связанные с изменением внешних условий функционирования ПК, например, изменение протокола передачи данных от стороннего ПК. Этой группе рисков подвержены функциональные возможности ПК, поэтому они должны быть учтены на этапе интеграционного и приемочного тестирования.

Третья группа рисков связана с возможными ошибками реализации отдельных модулей ПК, а также их взаимодействия друг с другом. Примером таких дефектов может являться некорректная обработка граничных условий, выход за границы допустимого диапазона и пр. Обработку этой группы рисков следует осуществлять на этапе модульного и интеграционного тестирования.

С развитием современного общества ценность и значимость информации неуклонно возрастает. Нынешнее мировое технологическое развитие открывает перед человеком множество возможностей доступа к различным ее источникам. Довольно часто такими источниками являются объекты мира мультимедиа: изображения или аудио/видео данные.

На сегодняшний день все большее внимание уделяется вопросам обеспечения информационной независимости Российской Федерации. В связи с этим крайнюю важность приобретают вопросы создания надежных систем обработки и передачи визуальных данных. Разработка методов улучшения и обработки визуальных данных могут способствовать развитию эффективных систем слежения и контроля, в частности применительно к различным задачам видеонаблюдения.

С ростом скорости передачи данных по компьютерным сетям возникает возможность обмена данными больших размеров в приемлемое время, что стимулирует развитие и интеграцию в повседневную жизнь различных автоматизированных комплексов обработки визуальных данных. Однако при проектировании и использовании таких систем необходимо учитывать ряд рисков, связанных с их некорректной работой, что становится особенно актуальным при работе в условиях повышенных помех и ограниченных возможностей передачи данных. Особенно важно в этом случае обеспечить надежность работы автоматизированной системы [71, 73].

В основу ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 [21] положены успешно зарекомендовавшие себя методы оценки риска. Стандарт также содержит рекомендации по принятию решений в условиях неопределенности и возможности возникновения нежелательных событий.

Применительно к автоматизированным системам обработки визуальных данных риски могут быть тесно связаны с построением и обслуживанием систем мониторинга:

- 1) наземного трафика (например, поиск и идентификация регистрационных номеров автотранспорта при мониторинге дорожно-транспортных ситуаций на дорогах);
- 2) подземного трафика (например, поездов в метрополитене);
- 3) трафика в аэропортах и пр.

Огромную важность приобретает задача минимизации рисков в связи с необходимостью развития глобальных отечественных сетей связи, что во

многим способствует созданию независимого от внешних в т. ч. и геополитических факторов устойчивого информационного обмена данными в Российской Федерации.

Все это приводит к тому, что крайне актуальными становятся также вопросы исследования методов управления качеством для создания надежного программного обеспечения, позволяющего поддерживать эффективный уровень их функционирования в рамках автоматизированных систем. Обеспечение заданного уровня надежности и гибкости разрабатываемых программных средств невозможен без непрерывного использования средств контроля, которые могут включать в себя как автоматические, так и автоматизированные средства управления качеством, которые в свою очередь должны отвечать требованиям, изложенным, в частности, в стандартах ГОСТ 34.201-89 [34] и ГОСТ 34.601-90 [35].

Такие средства, в свою очередь, во многом могут базироваться на применении принципа Деминга-Шухарта или PDCA (Plan – Do - Act - Check). Этот принцип предполагает разработку и применение последовательности действий, которые замыкаются и образуют цикл для того, чтобы обеспечить статистическую стабильность процессов. При помощи проверок, которые проводятся постоянно до, непосредственно во время, и после процесса производства, а также при помощи непрерывного аудита могут быть выявлены слабые места, которые в дальнейшем потенциально могут привести к повышению рисков некорректной работы автоматизированной системы.

Для минимизации возможных рисков некорректной работы автоматизированных систем нынешнее динамическое формирование и развитие информационного общества стимулирует рост технологий, призванных обеспечить в том числе и комплексную информационную безопасность. Одной из важных прикладных областей для таких технологий является обеспечение безопасности в автоматизированных производственных системах.

Задача обеспечения комплексной безопасности является довольно многогранной. Основываясь на системном подходе, при ее анализе можно

выделить следующие основные составляющие, которые можно рассматривать в качестве отдельных подсистем безопасности:

- 1) информационной;
- 2) информационно-аналитической;
- 3) инженерно-технической и пр.

Таким образом, функционирование автоматизированной системы обработки визуальных данных зависит от множества показателей. Управление рисками таких систем во многом можно осуществлять с использованием математического аппарата контроля многопараметрического процесса, когда необходимо контролировать p показателей качества $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$. При этом важной задачей является проведение оценки полученного в результате проведенных измерений распределения. Для проведения предварительной оценки можно исходить из предположения, что показатели качества имеют совместное нормальное распределение. Плотность распределения в этом случае можно определить следующим образом [45]:

$$f(X) = (2\pi)^{-p/2} |\Theta|^{-1/2} \exp\left[-(X - \mu)^T \Theta^{-1} (X - \mu) / 2\right] \quad (3.35)$$

где Θ – обозначение ковариационной матрицы, элементы, составляющие которую $\sigma_{ii} = \sigma^2$ представляют собой дисперсии случайных величин X_i , μ – является вектором средних значений, а $\sigma_{ij} = \sigma_{ji} = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$ – ковариации между X_i и X_j , ρ_{ij} – коэффициент корреляции между X_i и X_j . Альтернативный подход основан на использовании методов компьютерного моделирования [7].

Однако при практическом применении параметры, требующие контроля, довольно часто принадлежат распределению, отличному от нормального. В этом случае для проведения оценки рисков необходима проверка гипотез о виде распределения. Среди наиболее распространенных критериев можно выделить критерий χ^2 , который в своей основе использует сравнительную характеристику гистограммы, полученной эмпирическим путем, с ее теоретической плотностью. Для ее расчета необходимо полученные экспериментальным путем данные разбить на k интервалов и подсчитать следующую статистику:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (3.36)$$

где n_i – количество значений случайной величины, попавший в i -й интервал, n – объем выборки, p_i – теоретическая вероятность попадания случайной величины в i -й интервал.

Таким образом, для оценки и минимизации рисков некорректной работы автоматизированной системы обработки визуальных данных необходимо осуществлять непрерывный статистический контроль параметров системы, проводить процедуры управления качеством с целью максимизации эффективности их работы.

На сегодняшний день задачи управления качеством программных комплексов, а также связанные с ними вопросы повышения надежности разрабатываемых продуктов становятся все более актуальными. Согласно ГОСТ Р ИСО МЭК 9126-93 [22] одним из важнейших требований к программному продукту как материальному объекту является надежность. Стандарт определяет надежность в качестве набора атрибутов, которые относятся к способности ПО сохранять требуемый уровень качества функционирования в заданных условиях за установленный временной период. В конечном итоге это определяет уровень функциональных возможностей систем, а также степень удовлетворенности специалистов, отвечающих за успешность выполнения производственных задач.

Процесс квалифицированного тестирования является одним из важнейших процессов применительно к жизненному циклу программных средств. В этой связи, применительно к стадиям жизненного цикла разработки и поддержки программных средств особую важность приобретают вопросы обеспечения гарантии качества их работы, что во многом достигается с использованием методов автоматизированного тестирования, и в частности, тестирования корректности работы отдельных изолированных модулей. Одной из целей автоматизации согласно ГОСТ 33707-2016 [40] является повышение

производительности труда человека посредством замены части этого труда работой машин.

Метод автоматизированного управления качеством функционирования программных комплексов включает в себя различные варианты контроля корректности работы ПКОПД на различных структурных уровнях системы (см. рисунок 3.7).

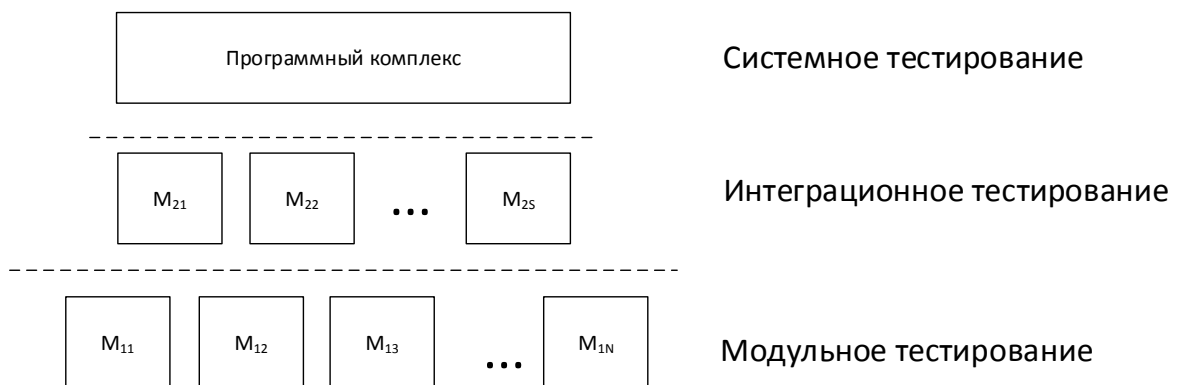


Рисунок 3.7 – Уровни тестирования программного комплекса

Методика модульного тестирования заключается в анализе корректности работы каждого отдельного модуля в изоляции.

Интеграционное тестирование обеспечивает проверку корректности работы нескольких взаимодействующих модулей одновременно.

Регрессионное тестирование направлено выявлением нарушения работы как модульных, так и интеграционных тестов в связи с внесением в систему нового функционала.

Системное тестирование обеспечивает сквозное определение работоспособности всех модулей, имеющих в системе. Данный вид тестирования позволяет убедиться, что характеристики ПКОПД соответствуют параметрам, заявленным в техническом задании.

При проведении тестирования ПК необходимо осуществлять процедуры по менеджменту рисков. Это позволяет выделить потенциальные проблемные области, сбои в которых могут привести к более серьезным и неблагоприятным последствиям. Результаты анализа степени риска могут быть использованы для

выбора наиболее значимых тестов. При проведении анализа степени риска тестируемым модулям назначаются приоритеты. При этом в риске можно выделить следующие компоненты:

- 1) вероятность события (правдоподобие ошибки) – вероятность того, что возникнет ошибка;
- 2) серьезность влияния (влияние ошибки) – влияние, которое оказала бы эта ошибка в случае своего проявления.

Использование матрицы рисков позволяет оценить и упорядочить потенциальные проблемы, задав в случае необходимости, весовые коэффициенты. Типовой вид матрицы представлен на рисунке 3.8.

Одной из важнейших характеристик модульных тестов является легкость их поддержки и модернизации. Для этого важно обеспечить, чтобы такой тест имел полный контроль над всеми внешними зависимостями. Это позволяет добиться того, что его результат:

- 1) повторим - в результате запуска тест всегда приводит программную систему в одно и то же состояние;
- 2) стабилен - вне зависимости от времени запуска тест либо всегда проходит, либо всегда не проходит;
- 3) изолирован - порядок запуска всех имеющихся модульных-тестов, а также действия, выполняемые ими, не влияют на результат выполнения отдельно взятого модульного теста.



Рисунок 3.8 – Типовая матрица рисков

Тесты, построенные с учетом приведенных характеристик, можно использовать для построения автоматизированных систем, позволяющих проводить регрессионное тестирование. Такие системы можно использовать для менеджмента рисков, который согласно [21] включает в себя применение логических и системных подходов для их мониторинга и анализа. На основе полученных показателей можно произвести оценку риска разрабатываемого проекта [61].

Важной характеристикой хорошего модульного теста является его малое время выполнения. Это связано с тем, что в случае наличия для программного комплекса значительного количества тестов, полный цикл их выполнения может занимать уже значительное время. Это может способствовать тому, что на стадиях ЖЦ разработки и поддержки, в связи с возможными ограниченными временными ресурсами, запуск всех имеющихся модульных тестов может производиться все реже, а значит, скорость получения реакции системы на внесенные изменения уменьшается. В итоге это приводит к тому, что время обнаружения ошибки, внесенной в логику работы программного комплекса, может увеличиться.

Рассмотрим несколько подходов к проектированию надежных автоматизированных тестов, которые можно легко поддерживать и

модернизировать. При их проектировании и построении важно обеспечить, чтобы каждый тест проверял только один результат работы. В этом случае при его провале можно однозначно определить, где нарушена логика работы программного комплекса. Если же в одном тесте содержится несколько проверок, то без повторных запусков, а также дополнительного анализа кода программного комплекса нельзя однозначно сказать, где именно произошло нарушение логики работы.

Кроме того, при построении автоматизированных тестов, важно обеспечить их максимальное взаимодействие с доступным для пользователя интерфейсом программного комплекса, поскольку по сути именно он и определяет реализуемый продуктом функционал. Однако, на различных стадиях жизненного цикла, в модуль, скрытый от пользователя, могут быть внесены изменения, не влияющие на видимый для пользователя результат. В итоге это может привести к провалу ряда тестов, написанных для таких скрытых модулей, хотя сам функционал в целом, реализуемый программным комплексом, остается не нарушенным.

Еще одной важной характеристикой надежного автоматизированного модульного теста является обеспечение минимальных временных затрат на исправление выявленной ошибки. При этом крайне неприятная ситуация может возникнуть, если сам тест содержит ошибку. Как правило, поиски причины провала в первую очередь начинаются именно в логике работы тестируемого кода, а не в самом тесте. В этой связи при возникновении подобной ситуации на поиск истинной причины провала теста и его дальнейшее исправление может быть потрачено значительное время.

Для минимизации риска возникновения такой ситуации необходимо обеспечить, чтобы логика выполнения теста был максимально простой, в частности, следует избегать использования операторов ветвления, а также циклических процедур. Таким образом, надежный автоматизированный модульный тест можно представить, как последовательность вызовов функций с дальнейшей проверкой полученного результата с эталонным.

Одним из важных приложений применения автоматизированных тестов является их использование для безопасного внесения изменений в программные комплексы, обладающие большой кодовой базой. В этом случае, один из наиболее безопасных подходов заключается в том, чтобы до начала внесения изменений создать своеобразную "сетку безопасности" вокруг целевого модуля. Для этой цели необходимо вначале покрыть требуемый модуль тестами и только потом приступать к внесению изменений.

Рассмотренные подходы к построению автоматизированных тестов были апробированы на основе использования различных методик автоматизированного тестирования.

Результаты экспериментальной оценки различных вариантов тестирования ПКОДП приведены в таблице 3.2:

Таблица 3.2 – Сравнительный анализ методик тестирования

Методика тестирования	Минимальная эффективность	Типичная эффективность	Максимальная эффективность
Модульное тестирование	15 %	30 %	50 %
Интеграционное тестирование	25 %	35 %	40 %
Регрессионное тестирование	15 %	25 %	30 %
Системное тестирование	25 %	40 %	55 %

В данной таблице под эффективностью понимается процент обнаруженных дефектов из общего числа дефектов, имеющих в ПКОДП на конкретном этапе реализации системы.

Анализ таблицы показывает, что наибольшую эффективность обеспечивает использование системного тестирования. Однако в условиях

ограниченных временных ресурсов, наиболее целесообразно применение методик модульного и интеграционного тестирования.

Рассмотренные в данном разделе автоматизированные методы и подходы к управлению качеством разработки программных комплексов позволяют создавать надежные модульные тесты, которые просты в поддержке и модернизации. Использование их на практике способствует повышению надежности программных комплексов на различных стадиях жизненного цикла.

3.5 Выводы по разделу 3

Как показывает эксперимент, алгоритмы маскирования, использующие взвешенное усреднение, позволяют восстанавливать с высокой результативностью области визуальных данных, не содержащих заметных отличительных признаков: гладкие области и области с градиентом. При применении методов направленного восстановления контуров обеспечивается возможность восстановления регионов в т. ч. с незначительными отличительными признаками: области, содержащие изофоты, а также области с регулярной текстурой, если та содержит изофоты.

Алгоритмы на базе сегментации способны показывать хорошие результаты при обработке регионов, обладающих ярко выраженными границами объектов: гладких регионов, регионов с изофотами, а также с регулярной текстурой.

Принцип работы алгоритмов восстановления, использующих глобальный или локальный поиск не предусматривает возможности модификации шаблонов. В связи с этим они проявляют наибольшую результативность при восстановлении данных, обладающих значительной корреляцией с неискаженными.

Алгоритмы на базе разреженного кодирования способны эффективно восстанавливать данные, отсутствующие в явном виде среди неискаженных за счет возможности обнаруживать скрытые закономерности анализируемых

данных. При этом восстановление нерегулярной текстуры представляет наибольшую сложность.

Подчеркнуто, что при разработке ПКОПД особую важность приобретает задача минимизации рисков в связи с необходимостью развития глобальных отечественных сетей связи.

Рассмотрены основные этапы процесса разработки ПК, а также предложены методы разработки автоматизированных средств тестирования, позволяющих снизить риски, возникающие при разработке ПКОПД.

4. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДААННЫХ

4.1 Квалиметрические методы управления качеством процесса разработки программных комплексов

В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-2009 [15] в модели оценки процесса разработки программных комплексов можно выделить две основные категории:

- 1) категория процессов жизненного цикла системы;
- 2) категория процессов жизненного цикла программных средств.

Обе категории включают в себя в общей сложности 60 процессов, при этом большая часть относится к первой из них. Важнейшей составной частью модели оценки любого процесса являются атрибуты, которые определены в ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504, как измеримые характеристики возможности процесса оценки. Они используются в качестве общей основы для анализа возможности процесса разработки программных средств, позволяя формировать результаты, опираясь на общую рейтинговую шкалу.

Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 [18] системный элемент можно рассматривать в качестве представителя совокупности элементов, образующих систему. При этом указано, что системный элемент может представлять, в частности, как технические, так и программные средства.

Стандарт ISO/IEC 33020:2015 [91] выделяет девять основных атрибутов процесса (РА):

$$PA = \{PA1.1, PA2.1, PA2.2, PA3.1, PA3.2, PA4.1, PA4.2, PA5.1, PA5.2\}. \quad (4.1)$$

При этом атрибут PA1.1 устанавливает выполняется ли процесс, и достижение данного атрибута во многом определяется выполнением базовых (base) практик, под которыми понимается деятельность, которая, в случае последовательного осуществления, вносит вклад в достижение конкретной цели процесса оценки. Остальные атрибуты PA2.1 – PA.5.2 определяются

выполнением практик, являющихся общими для всех процессов, и характеризуют деятельность, которая, в случае последовательного осуществления, вносит вклад в достижение конкретного атрибута процесса.

В рамках стандарта ISO/IEC 33020 рассматривается возможность использования рейтинговой шкалы, предусматривающей уточнения, а также применения различных методов оценки. Рейтинговая шкала содержит следующие виды оценки, приведенные в табл.4.1.

Таблица 4.1 – Виды оценки атрибутов процесса

N	Не достигнута (Not achieved)	Признаки достижения заданного атрибута слишком малы или полностью отсутствуют
P	Частично достигнута (Partially achieved)	Существуют некоторые свидетельства достижения заданного атрибута процесса в оцениваемом процессе. Некоторые аспекты достижения атрибута процесса могут быть непредсказуемыми.
L	Большой частью достигнута (Largely achieved)	Существуют значительные свидетельства достижения заданного атрибута процесса в оцениваемом процессе. Некоторые недостатки, связанные с этим атрибутом, могут существовать в оцениваемом процессе.
F	Полностью достигнута (Fully achieved)	Имеются свидетельства полного достижения определенного атрибута процесса в оцениваемом процессе. Никаких существенных недостатков, связанных с этим атрибутом, не существует в оцениваемом процессе.

В связи с наличием множества нечисловых и неформализованных показателей, характеризующих рассматриваемые процессы, оценку результативности их работы целесообразно проводить с использованием квалиметрических моделей [46]. На сегодняшний день можно выделить два основных подхода к созданию таких моделей:

- 1) построение структурированной функции качества системы с дальнейшим использованием методов факторного анализа;
- 2) применение комплексного показателя, включающего расчет единичных показателей качества с соответствующими весовыми коэффициентами.

Построение структурированной функции качества для оцениваемой системы осуществляется в несколько этапов. На первом этапе производится выбор набора измеряемых показателей качества оцениваемого процесса. Далее необходимо структурировать выделенные показатели, характеризующие различные подпроцессы, с целью выявления наиболее значимых. Полученные показатели также могут быть использованы для проведения технологической модернизации системы [5].

Один из подходов к структурированию основан на применении дома качества [78], с помощью которого можно выявить связь требований, предъявляемых к оцениваемой системе, с измеряемыми показателями качества. Его можно представить в виде набора блоков, с использованием которых представляется удобным отображение связи между наблюдаемыми показателями качества (требованиями потребителей) и техническими характеристиками анализируемого процесса.

Таким образом, задача структурирования функции качества состоит в определении и ранжировании требований потребителя к характеристикам оцениваемых систем $\{D_k\}, k = \overline{1, n}$, где n – общее число оцениваемых потребителем характеристик, и последующей оценке каждой из рассматриваемых потребительских характеристик с позиции технических специалистов: $D_k = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$, где m – общее число технических характеристик.

Важнейшим шагом является снижение размерности показателей качества с помощью применения методов факторного анализа. Цель факторного анализа заключается в определении взаимосвязи между показателями, а также в их

классификации для дальнейшего выделения среди них наиболее важных [9]. Таким образом, применение данной процедуры способствует снижению размерности показателей качества оцениваемого процесса, исходя из требований потребителя.

По итогам улучшения процесса составляется блок, содержащий результаты сравнения с конкурентными системами, который формируется с использованием шкалы “лучше - так же - хуже”. При этом требования потребителей, в которых конкурентные системы показывают более хорошие результаты, определяют области, требующие дальнейшего улучшения.

Описанный выше способ построения квалиметрической модели требует значительных трудозатрат для оценки процесса разработки программных комплексов.

В рамках второго подхода комплексный показатель качества программных комплексов можно представить в виде линейной свертки оцениваемых показателей качества:

$$Q = \mu_1 \cdot q_1 + \mu_2 \cdot q_2 + \dots + \mu_n \cdot q_n, \quad (4.2)$$

где Q - комплексный показатель качества программного комплекса, μ_i - коэффициент весомости оцениваемого показателя качества, q_i - оцениваемый показатель качества.

Показатель качества программного комплекса можно представить в виде отношения оценки измеренного показателя к определенному базовому ранее рассчитанному значению, и определить по следующей формуле:

$$q_i = \frac{K_{u,i}}{K_{\bar{o},i}}, \quad (4.3)$$

где $K_{u,i}$, $K_{\bar{o},i}$ - соответственно, измеренное и базовое значение i -го показателя качества программного комплекса. При этом установление базовых значений оцениваемых показателей должно осуществляться на основе требований заинтересованных сторон.

В соответствии с квалиметрической теорией под коэффициентом весомости единичных показателей качества принято понимать количественную

характеристику значимости рассматриваемого показателя качества объекта по сравнению с другими показателями качества. При оценке весов возникает необходимость в той или иной форме привлекать методы, основанные на экспертных оценках, либо опираться на дополнительные источники информации, в том числе нечеткой и нечисловой природы [30].

Для установления коэффициентов весомости можно использовать разнообразные методы. К их числу можно отнести следующие [69]:

- 1) метод на основе регрессионного анализа;
- 2) метод, основанный на анализе предельных и номинальных значений;
- 3) метод, основанный на вычислении коэффициентов значимости с использованием экспертных оценок.

Для использования первого метода необходимо сформировать линейные зависимости комплексной оценки процесса от его выбранных показателей качества. Данный метод можно эффективно применять только в том случае, если зависимости четко определены, а число показателей качества невелико.

Второй метод предполагает использование предельно допустимых значений показателей качества, рассчитываемых для оцениваемого процесса. Данный метод целесообразно применять, если правильно рассчитаны предельно допустимые показатели качества, а также подтверждена их достоверность. К недостаткам данного подхода можно отнести высокую трудоемкость расчетов.

Третий метод заключается в экспертном определении коэффициентов весомости свойств оцениваемого процесса. Его основная идея заключается в том, чтобы использовать мнение экспертов, их умение находить решение нечетко формализованных задач.

Для нахождения значений удельных весов, назначенных каждому критерию, наиболее объективным методом при использовании многокритериальной оценки является нахождение итогового мнения комиссии экспертов с помощью медианы Кемени [8], при которой не требуется “оцифровки” мнений.

Область применения рассматриваемого метода не ограничивается только экспертными оценками. На его основе можно проводить оценку качества различных математических моделей, предназначенных для обработки многофакторных процессов в т. ч. с использованием анализа показателя суммы модулей относительных отклонений, полученного расчетным и экспериментальным путем [8].

В большинстве случаев математическая обработка экспертного определения коэффициентов значимости показателей качества объекта формируется за счет усреднения значений, выставленных экспертами, что определяет субъективизм и возможность появления значительных ошибок.

Основная идея заключается в том, что необходимо одновременно минимизировать суммарное расстояние от точки, в которой предположительно находится истинное искомое решение до точек, характеризующих мнения всех опрошенных экспертов. Пусть имеются ответы r экспертов - A_1, A_2, \dots, A_r , которые представлены в виде бинарных отношений. Медиана Кемени подчиняется закону больших чисел, что приводит к тому, что увеличение количества оценок, используемых для построения эмпирического среднего, приближает полученную оценку к теоретическому среднему. Это можно представить в виде следующей формулы:

$$\arg \min \sum_{i=1}^r D(A_i, A) \rightarrow \arg \min M[D(A_i, A)] \quad (4.4)$$

где D – расстояние Кемени, между бинарными отношениями, M – символ математического ожидания, A – теоретическое среднее значение.

Как показала практика разработки ПК с учетом специфики управления процессами, определяющими качество их работы, в большинстве случаев наиболее целесообразным является применение подхода, основанного на расчете комплексного показателя с использованием соответствующих весовых коэффициентов для каждого единичного показателя качества [60].

Рассмотренный подход был применен для оценки качества разработки ПКОПД на производственном предприятии. В качестве основных

характеристик были выбраны такие параметры как: соответствие техническому заданию, скорость установки соединения, наличие визуальных искажений в принятых данных, разрешение принятого изображения, задержка приема данных и ресурсопотребление программного комплекса. Обработка мнения экспертов велась на основе расчета медианы Кемени, в результате чего был получен следующий вид квалиметрической оценки качества ПКОПД:

$$Q=0,15q_1+0,2q_2+0,31q_3+0,13q_4+0,17q_5+0,04q_6. \quad (4.5)$$

Применение данной квалиметрической модели оценки качества разработки программных комплексов позволило провести анализ тенденций инновационного развития высокотехнологического оборудования производственного предприятия, осуществить мероприятия по улучшению качества разработки программных комплексов, а также сформировать базу мониторинга для принятия проектных решений.

4.2 Управление качеством визуальных данных в инфотелекоммуникационных системах

Процесс управления качеством визуальных данных в инфотелекоммуникационных системах во многом определяется результативностью применяемых для их обработки кодеков. В рамках диссертационного исследования проведен сравнительный анализ кодеков, который осуществлялся на основе обработки типовых входных данных для ПКОПД, которые были представлены в следующих форматах:

- 1) последовательность отдельных кадров в формате TIFF;
- 2) видеопоследовательность в формате mp4.

Видеопоследовательность, находящаяся в формате mp4, сжата с потерями на основе стандарта H.264 AVC1. Данная видеопоследовательность состоит из 11 000 кадров, кадровую скорость 30 кадров/сек и имеет разрешение высокого качества 1920 * 1080.

На ее основе были сформированы определенные наборы последовательности кадров, которые были подвергнуты соответствующему исследованию.

Каждая из сформированных последовательностей имеет число кадров кратное 16, что вызвано ограничениями на входные данные для одного из рассмотренных алгоритмов сжатия.

Для формирования исходных данных для кодирования разными кодеками последовательность кадров представлялась в 2 форматах:

- 1) последовательность кадров в формате bmp;
- 2) видеопоследовательность в формате YCbCr 4:2:0.

Последовательность кадров в формате TIFF представляет собой фрагмент указанной выше видеозаписи, и для дальнейшей работы она также была преобразована в формат bmp.

Методика проведения экспериментов отображена на рисунке 4.1:

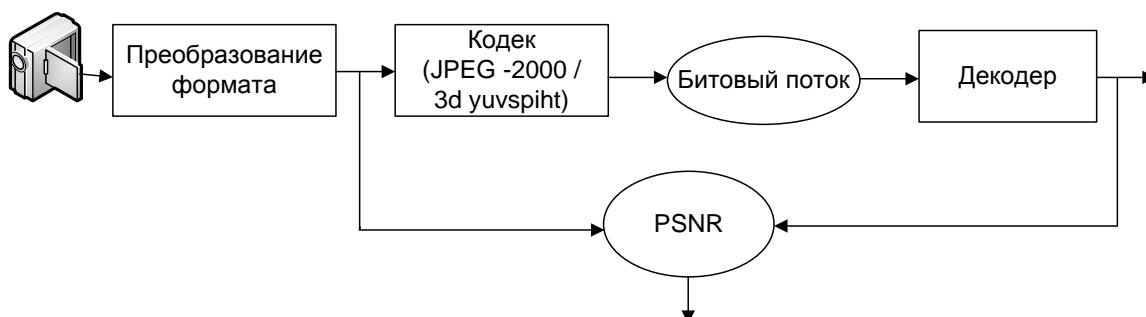


Рисунок 4.1 – Структурная схема проводимых экспериментов

Полученная с помощью видеокамеры последовательность кадров вначале преобразуется в формат, поддерживаемый тестируемым кодеком. В ходе проведенных тестов видеопоследовательность подавалось на вход кодеку JPEG-2000, где каждый кадр сжимался независимо от других кадров, и таким образом межкадровая корреляция никаким образом не учитывалась.

Кроме того, производилось сжатие тестируемых видеопоследовательностей с помощью алгоритма 3d yuvspiht.

Восстановление исходной видеопоследовательности (последовательности кадров) производилось путем декодирования порожденного битового потока.

Для сравнительного анализа строились следующие оценки:

- 1) производился расчет коэффициента сжатия для рассматриваемой последовательности:

$$cr = \frac{\sum_i src_size_i}{\sum_i enc_size_i}, \quad (4.6)$$

где src_size_i - исходный(несжатый) размер i -го кадра видеопоследовательности, enc_size_i - сжатый размер i -го кадра видеопоследовательности, cr - коэффициент сжатия;

- 2) производился расчет коэффициента сжатия для каждого кадра:

$$cr_i = \frac{scr_size_i}{enc_size_i}, \quad (4.7)$$

- 3) рассчитывался минимальный коэффициент сжатия cr_{\min} :

$$cr_{\min} = \min\{cr_i\} \quad (4.8)$$

- 4) рассчитывался максимальный коэффициент сжатия cr_{\max} :

$$cr_{\max} = \max\{cr_i\} \quad (4.9)$$

- 5) производилось построение графика зависимости размера порожденного битового потока за единицу времени (бит./сек.)
- 6) осуществлялась оценка качества восстановления исходной информации на основе метрики PSNR.

В ходе работы были использованы следующие кодеки:

- 1) 3d yuvspiht;
- 2) Open_jpeg;
- 3) Jasper (ver. 1.900.1).

При оценке алгоритма сжатия JPEG-2000 исходные кадры кодировались с помощью кодека open jpeg, т.к. в этой реализации есть возможность в параметрах указать необходимый коэффициент сжатия. Open jpeg лишь порождает битовый поток, но не имеет возможности его декодировать. Поэтому процесс декодирования осуществлялся декодером Jasper:

Кодек 3d yuvspiht поддерживает сжатие видеопоследовательностей с количеством кадров, кратных 16. Тестируемые видеопоследовательности были сформированы с учетом этого требования.

В результате исследования был проведен расчет межкадровой корреляции. Исследование строилось следующим образом:

- 1) производилось цветовое преобразование из пространства RGB в пространство YCbCr согласно формулам:

$$\begin{aligned} Y &= 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B, \\ Cb &= -0.147 * R - 0.289 * G + 0.436 * B, \\ Cr &= 0.615 * R - 0.515 * G - 0.100 * B. \end{aligned} \quad (4.10)$$

- 2) производился расчет коэффициента корреляции согласно формуле:

$$R = \frac{\Sigma(F1 - \overline{F1})(F2 - \overline{F2})}{\sqrt{\Sigma(F1 - \overline{F1})^2 (F2 - \overline{F2})^2}}, \quad (4.11)$$

где $F1$ – значение в точке Y компоненты кадра 1;

$\overline{F1}$ – среднее значение Y компоненты кадра 1;

$F2$ – значение в точке Y компоненты кадра 2;

$\overline{F2}$ – среднее значение Y компоненты кадра 2.

Смещение производилось как по оси X так и по оси Y . Максимальное смещение устанавливалось равным 30, минимальное – 0, шаг сдвига устанавливался равным 1. Полученные результаты отображены на рисунке 4.2.

Также в процессе исследования были рассчитаны оценки, указанные в пункте 2 для кодека JPEG-2000. В качестве кодера использовался `open_jpeg` с параметром устанавливающим коэффициент сжатия, равным 60. Таким образом, коэффициент сжатия на всем множестве составил 60.055. Максимальный коэффициент сжатия при заданных параметрах составил 60.182, а минимальный – 60.003.

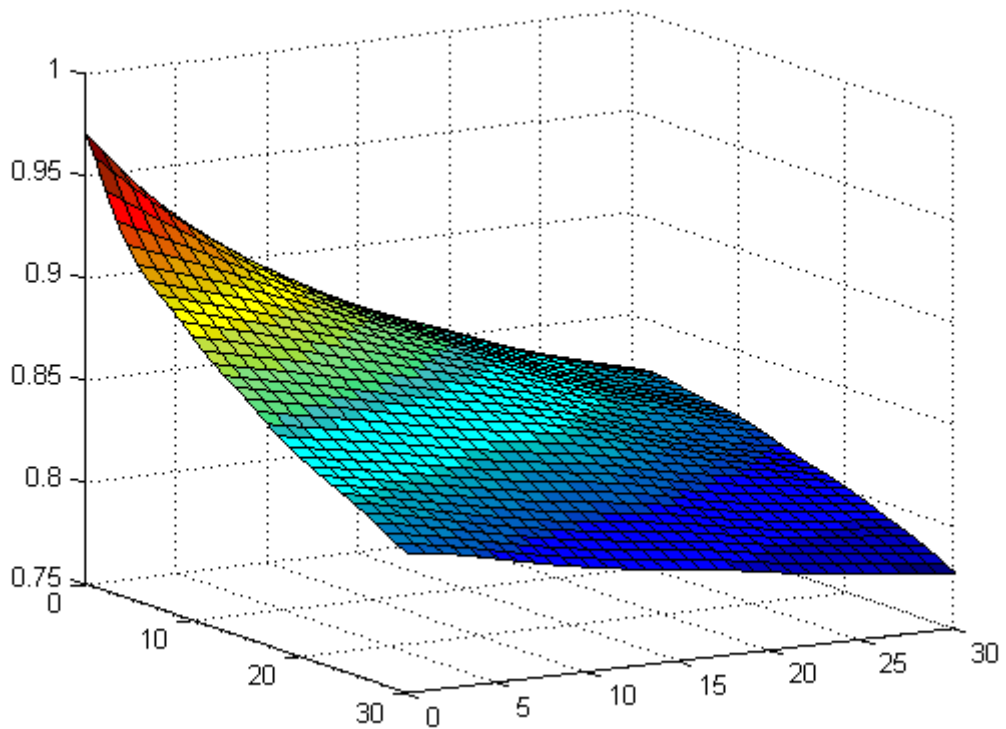


Рисунок 4.2 – График изменения коэффициента корреляции для первого и второго кадров из предоставленной последовательности кадров в формате TIFF

На рисунке 4.3 представлен график метрики PSNR-Y, рассчитанной для каждого кадра яркостной компоненты.

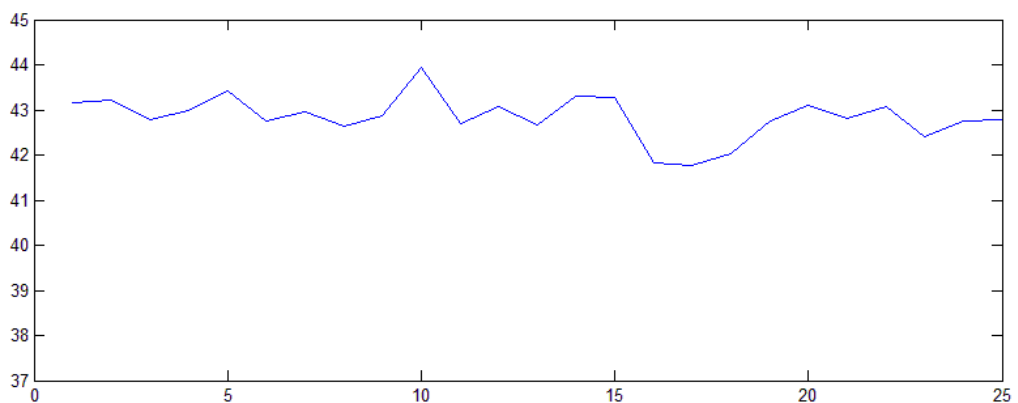


Рисунок 4.3 – График изменения метрики PSNR-Y анализируемой последовательности

Полученные значения лежат выше отметки в 40 dB. Среднее значение PSNR-Y равно 42.8413.

На рисунке 4.4 представлены размеры закодированных кадров.

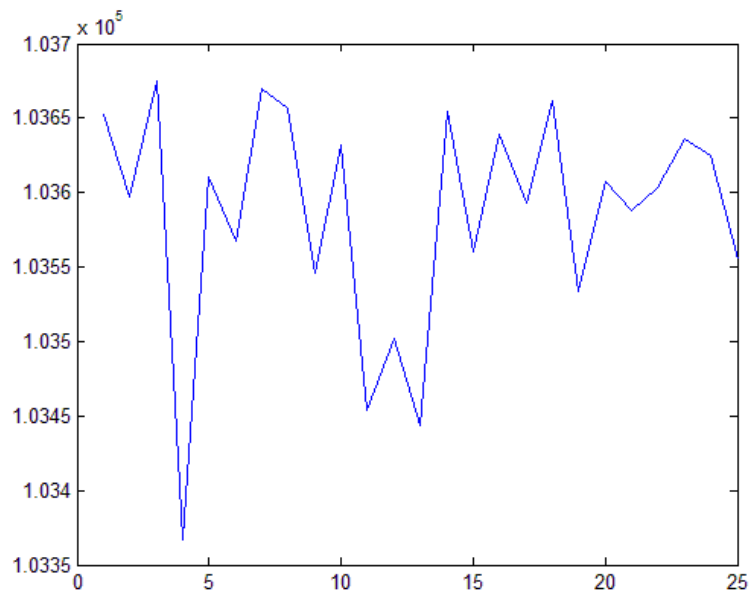


Рисунок 4.4 – Размер закодированных кадров видеопоследовательности

Из графика видно, что размеры сжатых кадров несколько отличаются друг от друга. Среднее размер закодированного кадра равен $1.0359 * 10^{-5}$ байт.

Существует ряд подходов, способных значительно улучшить эффективность современных алгоритмов сжатия данных. Одним из них является использование принципа генерации текстур. Этот принцип может быть использован при обработке схожих регионов на изображениях, которые были независимо загружены несколькими пользователями. Благодаря этому можно достичь высокого коэффициента сжатия без внесения серьезных визуальных искажений.

Большинство современных алгоритмов сжатия данных уменьшает только пространственную избыточность. Для использования зависимостей между набором изображений необходимо проводить обнаружение и анализ их особенностей.

При разработке алгоритма управления качеством набора изображений, и основанного на принципах сжатия, возникают две основные задачи:

- как сформировать из всего множества изображений сету, содержащие похожие изображения;
- как использовать обнаруженную схожесть для повышения эффективности сжатия.

Как правило, в базе данных наборы изображений представлены в сжатом виде. Степень корреляции между изображениями чаще всего оценивается путем анализа интенсивностей их пикселей. Для этого необходимо провести декодирование каждого изображения, что может занять достаточно длительное время, а также требовать больших вычислительных ресурсов. Кроме того, если в базе данных содержится достаточно большое количество изображений, то такая процедура может занять недопустимо большое время. В связи с вышесказанным задача нахождения схожих изображений является актуальной и требует дальнейших исследований.

Существует два основных подхода к оценке корреляции между изображениями: подходы, основанные на анализе пикселей и подходы, основанные на анализе локальных особенностей изображения. В отличие от пиксельно-ориентированных методов подходы, основанные на применении дескрипторов точек, таких как SIFT, SURF, SHoG, способны эффективно обрабатывать сложные регионы на изображении, т.к. они учитывают особенности, присущие объектам. По сравнению с пиксельно-ориентированными методами объектно-ориентированные подходы более устойчивы к геометрическим искажениям на изображении, таким как поворот или масштабирование, а также менее чувствительны к шуму [89]. Таким образом, задача оценки корреляции между изображениями является актуальной.

Приведенные особенности способствуют применению объектно-ориентированных подходов, которые широко используются при классификации, видеоиндексации и компьютерном зрении в задаче сжатия изображений, хранящихся в базе данных [114, 123, 124].

Существует два основных подхода к использованию найденной схожести между изображениями для повышения эффективности сжатия:

- подход, основанный на генерации репрезентативного сигнала;
- подход, основанные на визуальной кластеризации.

Алгоритмы из первой группы основаны на выделении некоторого репрезентативного сигнала (например, “среднего” изображения) из набора изображений. В дальнейшем сжатию подвергаются разница между исходным изображением и репрезентативным сигналом (предсказание один ко многим). Основной задачей в таком подходе является способ задания репрезентативного сигнала. Существующие подходы основаны на использовании KLT-преобразования, методе центроидов или поиске низкочастотных шаблонов. Однако, у данного подхода есть ряд серьезных ограничений, которые не позволяют его использовать в задаче управления качеством визуальных данных, хранимых в базе:

- такой метод применим только для изображений, обладающих высокой корреляцией (напр. медицинские или спутниковые снимки), т.к. для эффективной работы такого метода требуется точное выравнивание на границе изображений;
- предсказание один-ко-многим не учитывает зависимости между изображениями, т.к. анализируется только лишь взаимосвязь между исходным изображением и репрезентативным сигналом.

Техники, основанные на визуальной кластеризации, не требуют строгого выравнивания изображений. Эти техники основаны на повторном использовании пиксельной информации между несколькими изображениями. Основной принцип заключается в формировании из изображений псевдо-последовательности, которая в дальнейшем рассматривается как видео. При этом для его обработки применяется межкадровое предсказание. В таком случае можно выделить два основных способа восстановления исходного изображения:

- восстановление с использованием исходных блоков;
- восстановление с использованием искаженных блоков.

С помощью объединения одного или нескольких блоков из нескольких опорных изображений можно сформировать целевое изображение. Основная идея этого подхода отражает принцип обнаружения и компенсации движения, широко используемого в кодеках сжатия видео данных, таких как H.264/AVC или HEVC.

Так, в работе [127] предложена процедура восстановления изображений из похожих блоков, выбранных из других изображений. В качестве критерия схожести выбирается SAD (сумма абсолютных разностей) или SSD (сумма квадратов разностей). После этого производится сжатие разностной информации. Сложность такой процедуры значительно возрастает при работе с большой базой данных изображений.

Для работы ряда техник, основанных на визуальной кластеризации данных, необходимо проводить описание локальных особенностей изображения для определения блоков на изображениях, которые в дальнейшем могут быть использованы для восстановления исходного изображения [79]. В некоторых работах эта задача решается с использованием дескриптора GIST для построения ориентированного графа.

Однако, один из способов использования искаженных блоков может быть основан на применении разреженного представления данных. Данный подход базируется на обучении словарей данных, которые аккумулируют информацию, содержащуюся в изображениях, принадлежащих одному классу. Данный подход продемонстрировал свою эффективность в задаче классификации, а также задаче восстановления изображений. При использовании разреженного кодирования наиболее похожий блок данных может быть построен с помощью словаря, что позволяет избежать ресурсоёмкой процедуры поиска на основе SAD или SSD.

В процессе разработки метода управления качеством визуальных данных, хранящихся в базе данных, была предложена и проанализирована схема сжатия

набора изображений, принадлежащих одному классу. Соответствующая схема приведена на рисунке 4.5.

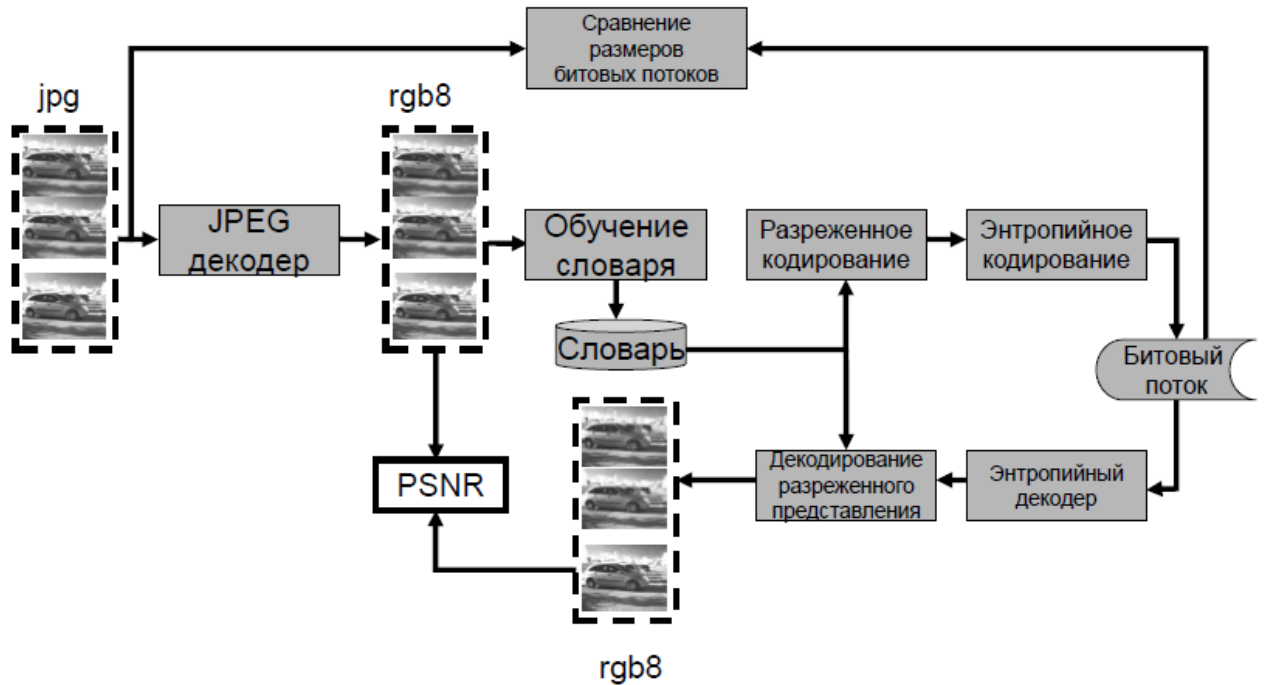


Рисунок 4.5 – Схема управления качеством изображений из одного класса

В качестве входных данных были выбраны два набора мультиспектральных изображений. Каждый тестовый сет содержит 21 изображений, каждое из которых представлено в градациях серого 8 бит на пиксель и сжато в формате JPEG. Размер каждого изображения из первого тестового сета составляет 640x480 пикселей, а из второго тестового сета – 768x576.

При сравнении использовалось два способа обучения словаря: метод К-средних (KSVD) и метод непрерывного обучения (Online). Полученные результаты представлены на рисунке 4.6. Производилось сравнение их эффективности с точки зрения коэффициента сжатия (отложен по оси x), а также качества восстановления по критерию пиковое соотношение сигнал-шум PSNR (отложен по оси y).

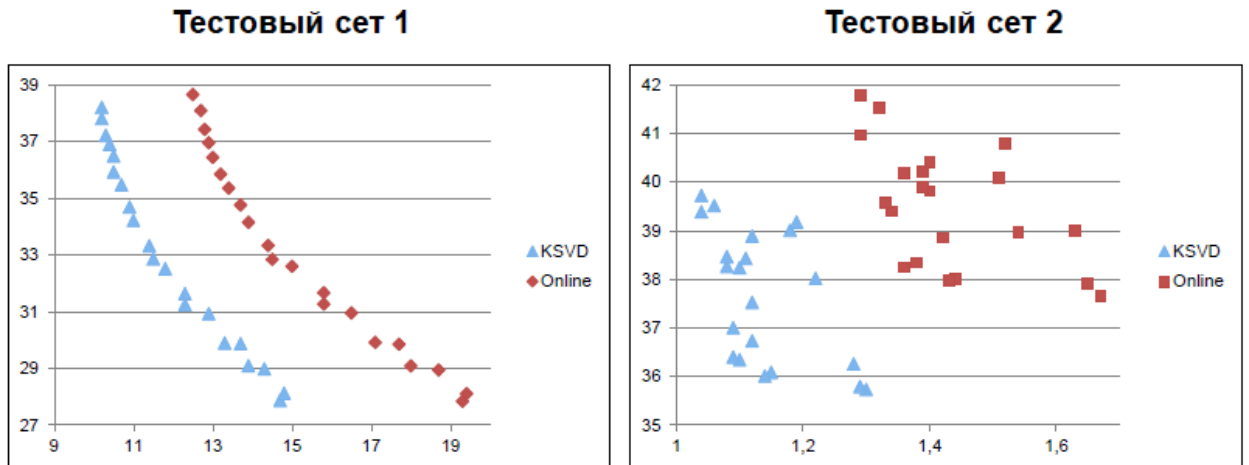


Рисунок 4.6 – Результаты сжатия двух наборов изображений

Из рисунка 4.6 видно, что на разных тестовых наборах результаты эффективности сжатия несколько различаются. Это вызвано тем, что обучение словаря сильно влияет на эффективность схемы сжатия в целом. Таким образом, проблема обучения словаря для управления качеством изображений одного класса является актуальной и ее решение способно значительно улучшить современные показатели сжатия изображения в хранилище изображений.

Предложенный алгоритм восстановления базируется на статье [80]. Основное отличие состоит в том, что на каждом шаге изменению (интерполяции) подвергается только один пиксель, а не несколько пикселей сразу.

Введем понятия, которые будут использоваться для описания алгоритма. Исходная область – изображений, содержащая множество неискаженных пикселей, а целевая область, в свою очередь, содержит множество искаженных пикселей.

Процесс работы алгоритма основан на проведении замены каждого пикселя из целевой области на наиболее похожий пиксель из исходной области изображения. Степень похожести определяется путем анализа апертуры (окружения) целевого и исходного пикселей с использованием критерия суммы абсолютных разностей. В случае, если несколько исходных пикселей имеют

равное значение критерия, то апертура каждого из них анализируется заново, уже с использованием критерия суммы квадратов разностей.

Обобщенная схема предлагаемого алгоритма восстановления приведена на рисунке 4.7.

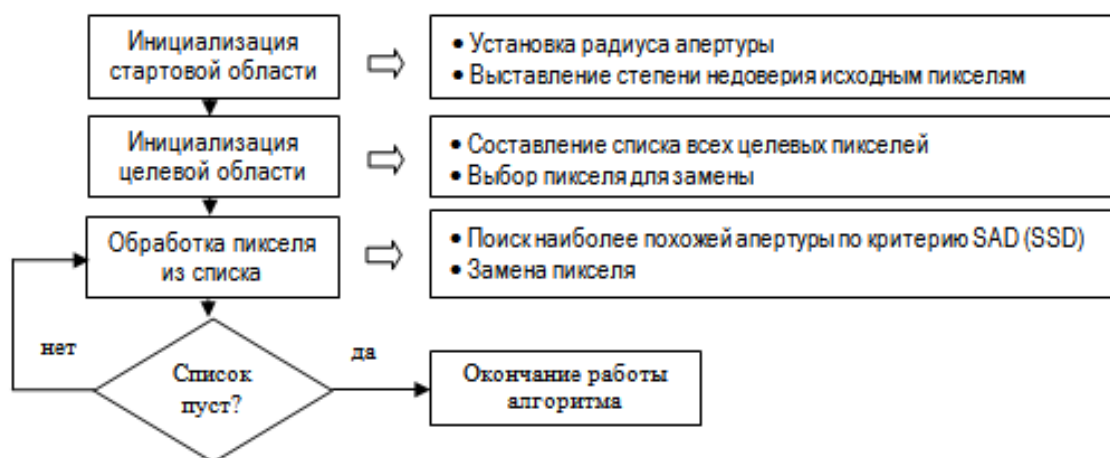


Рисунок 4.7 – Схема работы предложенного алгоритма восстановления

Для анализа результативности работы предложенного алгоритма был модифицирован декодер стандарта h.264 режима AVC. Предложенный алгоритм был интегрирован в данный декодер с целью маскирования и проведения процедуры маскирования искажений на приемной стороне. Результаты оценки качества восстановления с использованием предложенного метода приведены на рисунке. 4.8. Оценка производилась для видео которые входят в стандартный тестовый набор [122] и содержат как медленное, так и с быстрое движение.

Проведенный анализ показывает, что предложенный алгоритм маскирования искажений позволяет получить прирост качества по критерию PSNR до 13 dB. При этом, после восстановления искаженного блока на видео, характеризующимся малым количеством движения, величина выигрыша не сильно меняется от кадра к кадру. Это связано с тем, что искаженный блок имеет сильное влияние на большое количество следующих за ним кадров. Говоря о результатах обработки сильно динамического видео, стоит отметить,

что в этом случае искаженный блок имеет меньшее влияние во времени на последующие кадры, а это приводит к тому, что графики, отображающие PSNR, после некоторого времени сходятся. Однако, до момента их схождения также наблюдается значительное улучшение качества с точки зрения критерия PSNR.

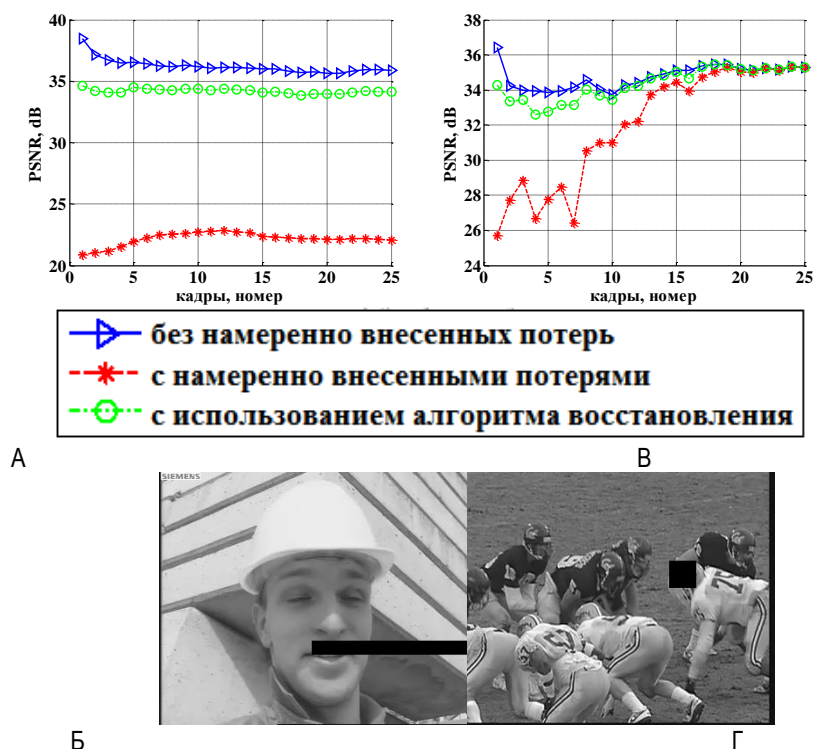


Рисунок 4.8

- А) график PSNR для видео с медленным движением;
 Б) результат декодирования Intra кадра с внесенными искажениями;
 В) график PSNR для видео с быстрым движением;
 Г) результат декодирования Intra кадра с внесенными искажениями

При проведении экспериментов модель канала передачи данных определялась дискретной Марковской моделью с двумя состояниями в соответствии с моделью канала Гильберта, представленной на рисунке 4.9 [73].

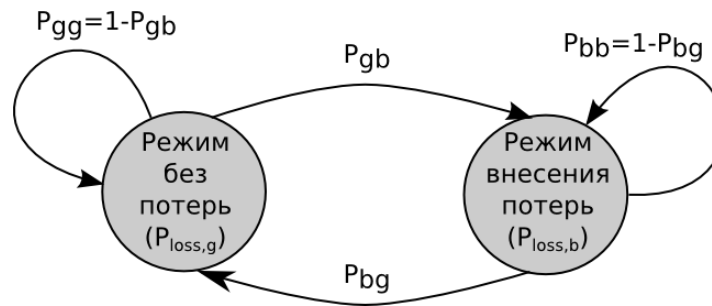


Рисунок 4.9 – Схема модели канала Гильберта

Будем полагать, что потери пакетов производятся в последовательном порядке в соответствии с вероятностями перехода, определяющими состояние Марковской модели.

Введем ряд условий применительно к рассматриваемому ПКОПД:

- 1) сетевой пакет содержит данные об одном блоке;
- 2) обработка блоков на стороне-отправителе производится независимо;
- 3) сторона-получатель гарантированно обнаруживает искаженные блоки.

В ходе экспериментов проводился анализ качества восстановления регионов изображений, при 10% вероятности потери пакета, содержащего блок изображения размера 8×8 пикселей.

В качестве тестовых данных были выбраны изображения из стандартного тестового набора [113]: “Barbara”, “Lena”, “Baboon”, “Peppers”, размер патчей был принят размером 8×8 пикселей, а количество атомов в словаре - 256. Для проведения анализа эффективности восстановления регионов изображений производилось 10 искаженных изображений, каждое из которых подвергалось восстановлению с зафиксированными параметрами разреженного кодирования. В качестве критерия оценки качества восстановления использовалось среднее значение PSNR по восстановленным изображениям. Подобный подход к оценке качества работы алгоритмов применялся в ряде исследований [74, 99].

Зависимость качества восстановления регионов изображений от количества патчей, используемых для тренировки словаря приведена в таблице.

4.2. В каждом эксперименте проводилось 3 итерации обновления словаря, а параметр ОМР алгоритма, m , характеризующий максимальное количество ненулевых элементов в представлении патчей, был выставлен равным 5.

Таблица 4.2 – Объективное сравнение по критерию среднего PSNR влияния количества патчей для тренировки словаря на качество восстановления

Искаженное изображение / PSNR, дБ		Восстановленное изображение			Прирост качества восстановления		
		Количество патчей для тренировки, шт.			Количество патчей для тренировки, шт.		
		3000	65000	135000	3000	65000	135000
Barbara / 14.27	PSNR, дБ.	33.45	33.67	33.66	19.19	19.4	19.39
	СКО	0.21	0.18	0.14	0.17	0.20	0.13
Baboon / 15.3	PSNR, дБ.	29.75	29.85	29.85	14.45	14.55	14.54
	СКО	0.16	0.11	0.12	0.17	0.11	0.12
Lena / 14.79	PSNR, дБ.	34.59	34.55	34.50	19.8	19.76	19.71
	СКО	0.27	0.27	0.26	0.24	0.25	0.26
Peppers / 14.54	PSNR, дБ.	34.41	34.24	34.40	19.87	19.70	19.86
	СКО	0.33	0.23	0.21	0.25	0.17	0.12

Анализируя представленные данные следует отметить, что поскольку текстурные регионы изображения поддаются хорошей аппроксимации с помощью разреженного кодирования, то наиболее существенное изменение прироста качества восстановления при увеличении количества тренировочных патчей наблюдается на изображении “Barbara”, поскольку оно содержит много текстурных регионов, формируемых из повторяющихся элементов (шаблонов).

Содержание текстурной составляющей на изображениях “Baboon” и “Peppers” значительно меньше, что приводит к меньшему влиянию количества патчей для тренировки словаря на качество восстановления.

Поскольку изображение “Lena” представлено, в основном, структурными регионами, то увеличение количества тренировочных патчей не способствует улучшению качества восстановления.

Зависимость качества восстановления регионов изображений от количества итераций обновления словаря приведена в таблице 4.3. В каждом эксперименте параметр m OMP алгоритма был выставлен равным 5, а на каждой итерации для тренировки словаря использовалось 65000 патчей.

Таблица 4.3 – Объективное сравнение по критерию среднего PSNR влияния количества итераций тренировки словаря на качество восстановления

Искаженное изображение / PSNR, дБ.		Восстановленное изображение					Прирост качества восстановления				
		Количество итераций обновления словаря					Количество итераций обновления словаря				
		3	5	7	9	11	3	5	7	9	11
Barbara / 14.36	PSNR, дБ	33.9	33.88	33.94	34.05	34.17	19.55	19.52	19.59	19.7	19.81
	СКО	0.21	0.21	0.19	0.19	0.15	0.18	0.18	0.14	0.14	0.11
Baboon / 15.27	PSNR, дБ	29.79	29.83	29.84	29.84	29.81	14.52	14.55	14.56	14.56	14.54
	СКО	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Lena / 14.84	PSNR, дБ	34.77	34.78	34.96	35.12	35.22	19.93	19.94	20.12	20.27	20.38
	СКО	0.12	0.23	0.21	0.21	0.22	0.13	0.20	0.18	0.19	0.18
Peppers / 14.54	PSNR, дБ	33.98	33.68	33.68	33.78	33.97	19.44	19.14	19.14	19.25	19.43
	СКО	0.26	0.29	0.41	0.45	0.41	0.25	0.33	0.47	0.51	0.47

Анализируя представленные данные, следует отметить, что количество итераций обновления словаря имеет наибольшее влияние в случае обработки изображений, содержащих как большое количество текстурной информации (“Barbara”), так и наоборот - изображений, содержащих, в основном, структурную (“Lena”). В первом случае это связано с возможностью словарей с одной стороны “запоминать” повторяющиеся особенности данных, а с другой –

со способностью изменения отдельных атомов для адаптации к однородным входным данным.

Зависимость прироста качества восстановления от количества активных атомов в разреженном представлении патчей приведена на рисунке 4.10. В этом эксперименте на каждой из трех итераций обновления словаря использовалось 65000 тренировочных патчей.

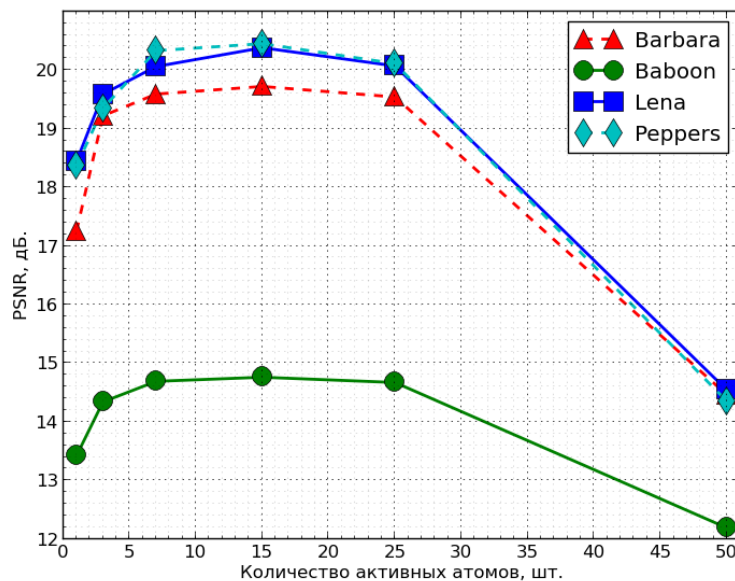


Рисунок 4.10 – Зависимость прироста качества восстановления от количества активных атомов в разреженном представлении патчей

Анализируя представленные данные следует отметить, что начиная с определенного количества активных атомов, выражаясь языком области машинного обучения, происходит “перетренировка” словаря, что при аппроксимации сигнала приводит к точному восстановлению значений искаженных пикселей.

Результаты экспериментов для различного количества активных атомов (1, 3, 5, 10, 15, 20) приведены на рисунках 4.11-4.13.

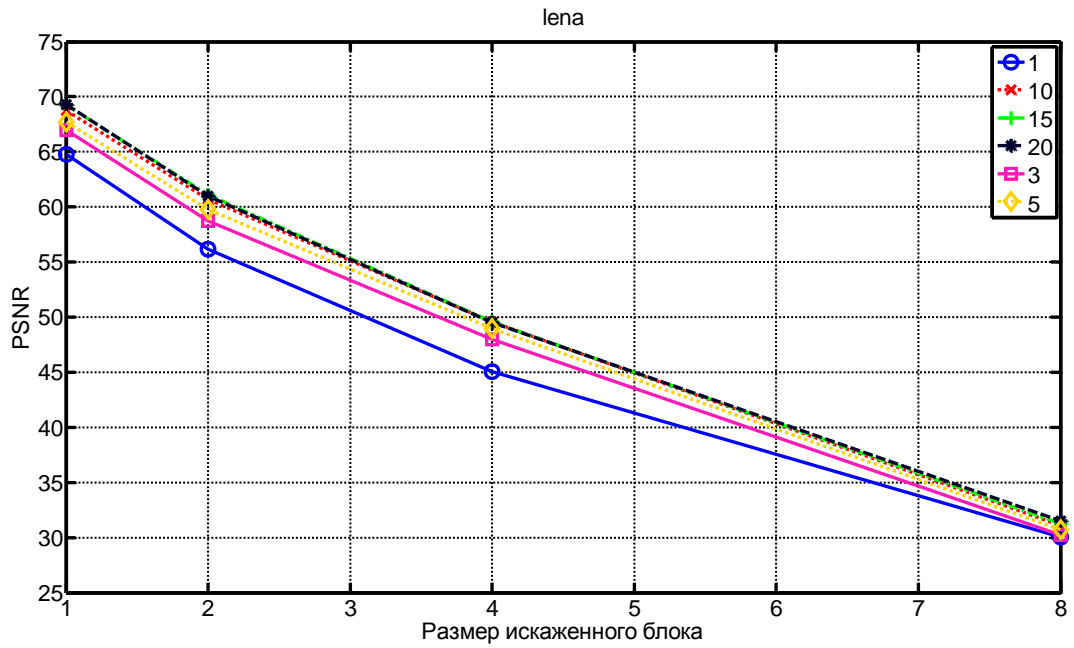


Рисунок 4.11 – Результаты экспериментов для изображения lena

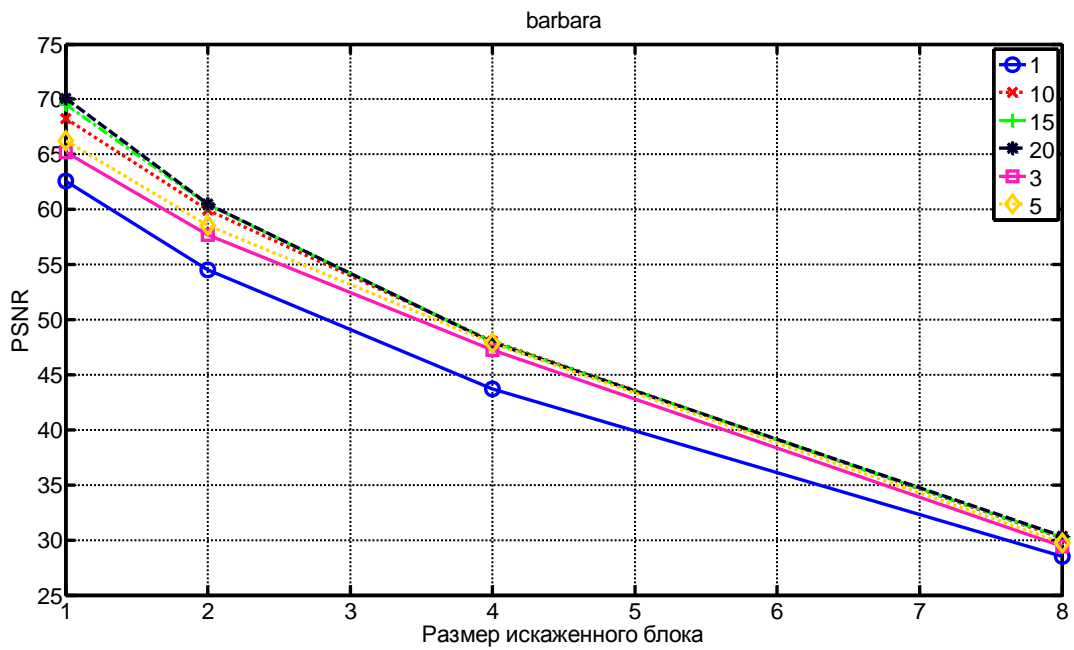


Рисунок 4.12 – Результаты экспериментов для изображения barbara

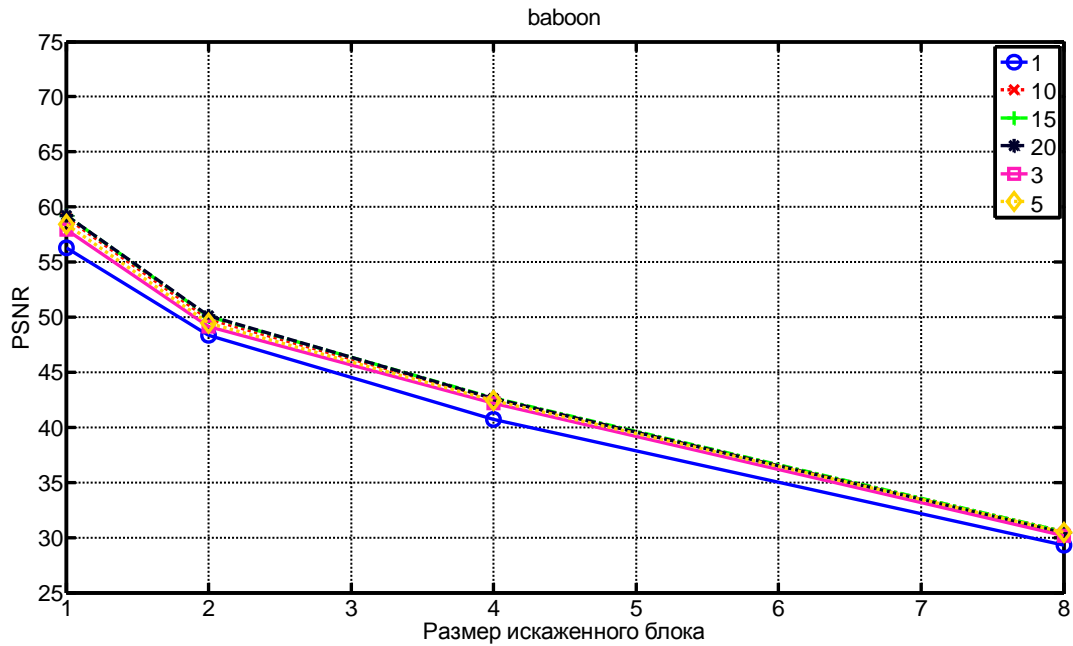


Рисунок 4.13 – Результаты экспериментов для изображения baboon

Анализируя результаты, приведенные на графиках, можно сделать вывод, что при увеличении числа активных атомов качество восстановления изображений, как правило, растет. При этом наибольший рост достигается при переходе от одного активного атома к пяти. Дальнейшее увеличение числа активных атомов не дает существенного прироста к качеству восстановления, а на некоторых тестах даже приводит к ухудшению. Данный эффект может быть объяснен тем фактом, при что большом количестве активных атомов ошибка аппроксимации патча существенно уменьшается. В таком случае наблюдается эффект переобучения, заключающийся в том, что при аппроксимации патча начинают учитываться шумовые (или искаженные) составляющие сигнала, что негативно сказывается на качестве восстановления [86].

В соответствии с приведенной выше моделью передачи данных и моделью ошибок в канале, было выполнено имитационное моделирование с целью оценки эффективности восстановления изображений, взятых из стандартного тестового множества [113].

Были рассмотрены два типа исходных словарей: словарь, состоящий из базисных функций дискретно-косинусного преобразования (ДКП), а также

синтетический словарь, представленный в работе [99]. Атомы синтетического словаря были получены в процессе обучения на большой выборке неискаженных изображений. В каждом эксперименте размер патча был зафиксирован и составлял 8x8 пикселей. В каждом словаре содержалось 256 атомов.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что количество искаженных макроблоков не влияет на соотношение результатов экспериментов. В связи с этим на рисунках 4.14-4.16 приведены результаты сравнения для тестовых изображений с максимальным рассматриваемым количеством искаженных макроблоков.

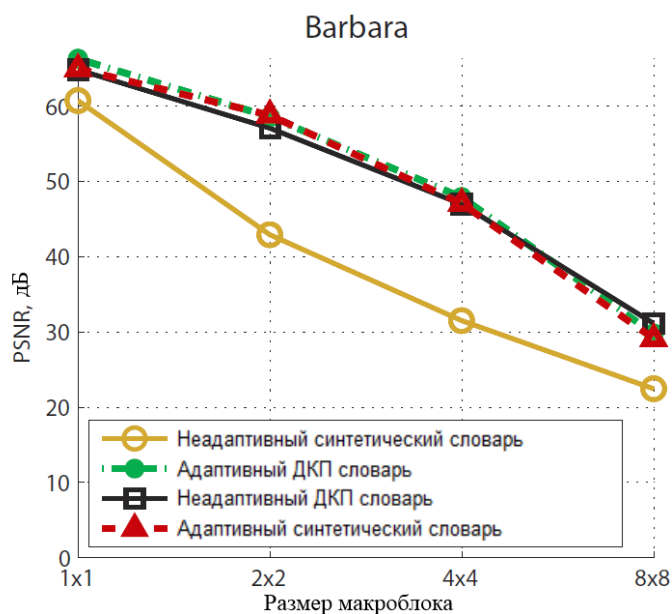


Рисунок 4.14 – Результаты обработки изображения barbara

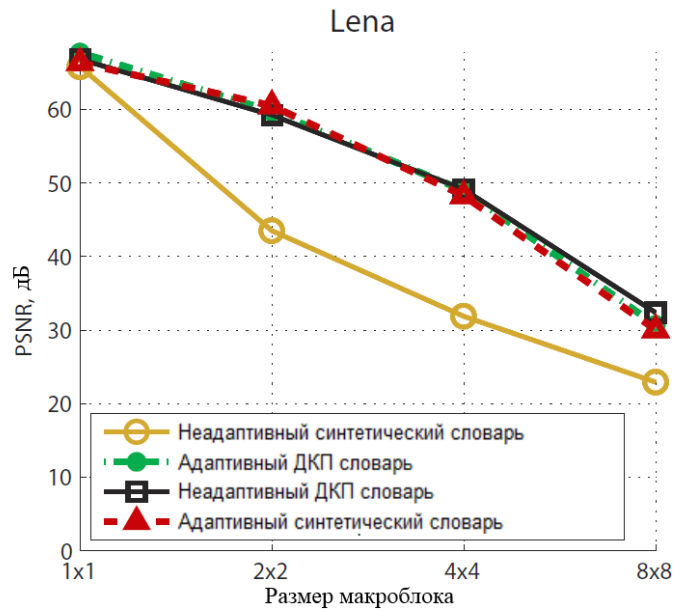


Рисунок 4.15 – Результаты обработки изображения lena

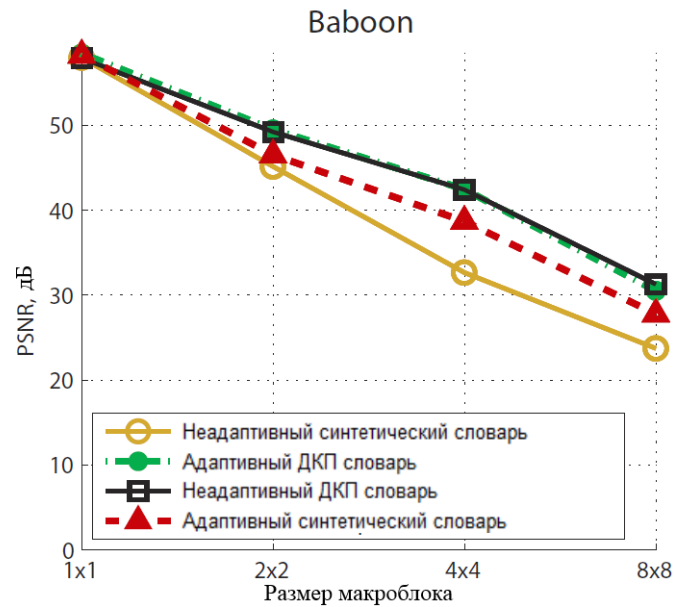


Рисунок 4.16 – Результаты обработки изображения baboon

Из полученных результатов следует, что методы восстановления регионов изображений на основе применения адаптивного словаря показывают лучшее качество восстановления по сравнению с методами, использующими фиксированный словарь. Проведенный анализ показывает, что адаптивная схема восстановления, основанная на использовании словаря, состоящего из набора базисных векторов ДКП, позволяет восстанавливать искаженные

регионы на изображении более точно, однако полученный выигрыш не является существенным.

Таким образом, в результате проведенных были выявлены следующие свойства разреженного кодирования применительно к задаче восстановления искаженных регионов изображений:

- с ростом количества патчей для тренировки словаря наибольший прирост качества восстановления наблюдается на изображениях, содержащих большое количество текстурных элементов;

- увеличение количества итераций обновления словаря дает наибольший прирост качества восстановления на регионах изображений, содержащих значительное количество текстурных или структурных элементов;

- функция, описывающая скорость прироста качества восстановления с ростом количества активных атомов в разреженном представлении патчей, меняет свой изначальный монотонно возрастающий характер на монотонно убывающий;

- наибольший прирост качества восстановления достигается при переходе в представлении от одного активного атома к пяти.

Результаты проведенного анализа показывают целесообразность использования адаптивного метода, предусматривающего возможность динамического выбора алгоритма для восстановления, основываясь на значениях ближайших пикселей из неискаженных.

4.3 Процедура расчета комплексного показателя, характеризующего качество процесса разработки программных комплексов

Обоснованный выбор параметров и характеристик ПКОПД в значительной степени сказывается на результативности его функционирования, сроках разработки и ввода в эксплуатацию. При этом под результативностью комплекса будем понимать степень его приспособленности к выполнению

поставленных перед ним задач. При осуществлении анализа вариантов проектных решений ПКОПД предпочтительным будет то, которое в наилучшей мере обеспечивает его соответствие поставленным задачам при приемлемых финансовых и временных ресурсах.

Рассматриваемый ПКОПД относится к классу систем, реализующих адаптивные технические решения, обеспечивающие вариацию параметров аппаратуры с уточнением неопределенности и использованием компенсационных возможностей системы. К числу компенсационных относятся системы, в которых предусмотрена возможность изменения их характеристик по мере уточнения неопределенности на соответствующих этапах жизненного цикла программных средств [44].

Процедура комплексной оценки и обеспечения качества процессов разработки ПКОПД представлена на рисунке 4.17.

На представленном рисунке обозначения $P_{кн}$ и $P_{кк}$ – означают, соответственно, начальное и конечное значение комплексного показателя качества процесса разработки ПКОПД.

Основу процедуры составляет цикл DMAIC, известный из методологии «Шесть Сигм» [78, 88]. Вместе с тем в ней учитываются требования ГОСТ Р ИСО/МЭК 9000-2015 в части осуществление менеджмента рисков, которые могут оказать значительное влияние на процесс разработки продукции и услуг, а также требования ГОСТ Р ИСО/МЭК 16085-2007 [23].

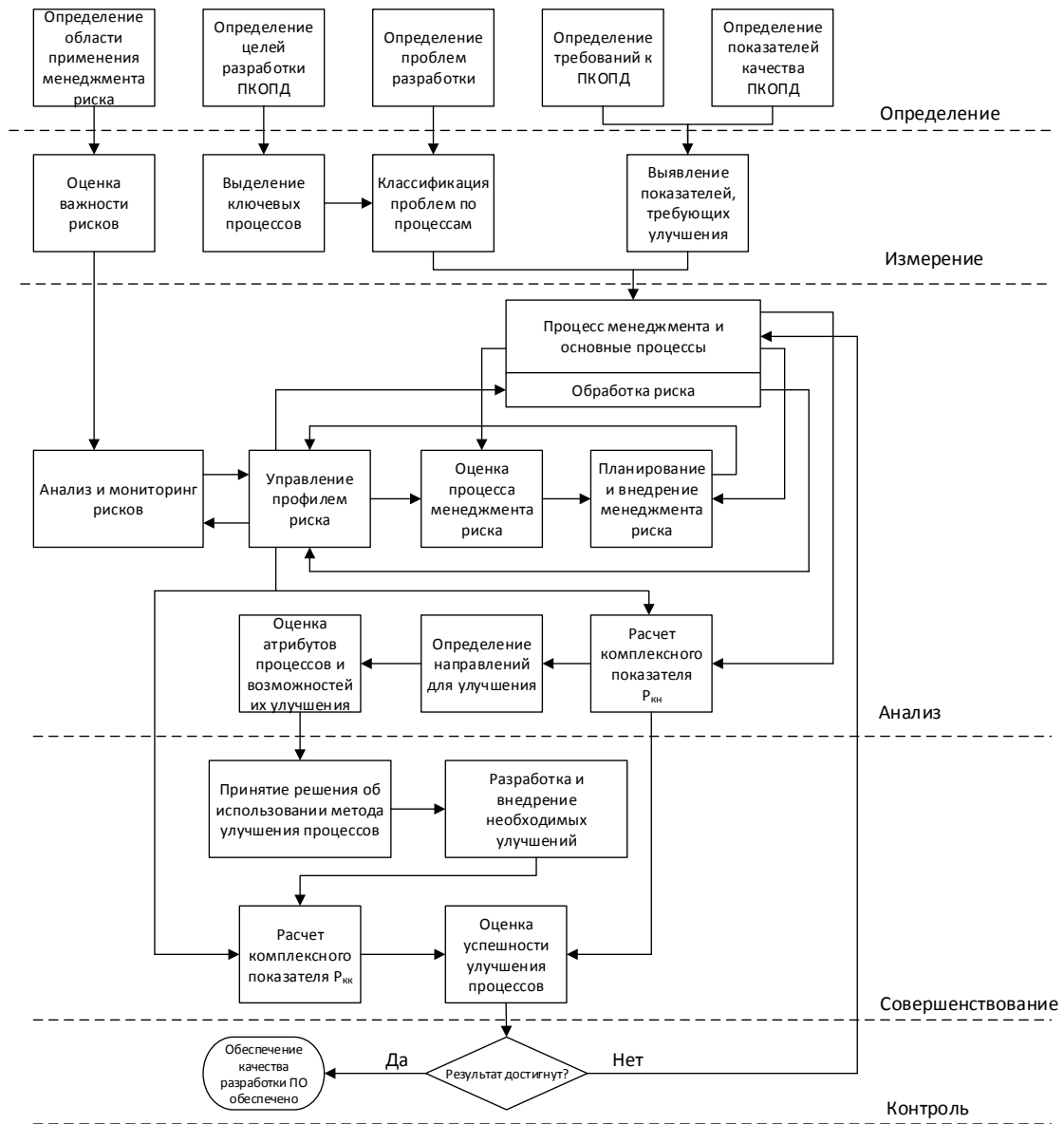


Рисунок 4.17 – Формализованная процедура оценки и обеспечения качества процессов разработки ПКОПД

Пять базовых этапов формируют основу предлагаемой процедуры. Каждый из этапов является обязательным, и последовательность их выполнения строго регламентирована: после этапа определения, следует этап измерения, позволяющий получить данные необходимые для этапа анализа. После него следует этап совершенствования и завершает процедуру этап контроля.

На этапе “Определение” осуществляется формулирование целей, проблем, требований, потенциальных ресурсов и рисков, а также определяются

показатели качества ПКОПД, учитывая требования ГОСТ Р ИСО/МЭК 25021-2014 [39].

На этапе “Измерение” производится сбор информации, необходимой для выявления неэффективных процессов, которые больше других нуждаются в повышении качества. Одновременно осуществляется оценка важности ранее выявленных рисков, а также расчет начального значения показателя эффективности проектного решения.

На этапе “Анализ” на основе процесса менеджмента и основных процессов производится оценка, планирование и внедрение менеджмента риска. Также на основе анализа и мониторинга рисков осуществляется управление профилем риска. На этом же этапе производится расчет начального значения интегрального показателя качества $P_{кн}$, который в дальнейшем используется для определения направлений для улучшений, а также для оценки процессов и возможностей их улучшения.

На этапе “Совершенствование” производится принятие решения об использовании метода улучшения процессов, осуществляется разработка и внедрение необходимых улучшений. После проведения этих операций производится окончательный расчет комплексного показателя $P_{кк}$.

На заключительном этапе “Контроль” производится оценка успешности улучшения процессов.

Предлагаемая процедура направлена на повышение качества ПКОПД и при соответствующем определении требований, целей и показателей качества может быть эффективно использована для разработки программных комплексов, предназначенных для автоматизированных производственных систем различного функционального назначения.

4.4 Выводы по разделу 4

В разделе 4 рассмотрены базовые подходы к созданию квалиметрических моделей процесса разработки ПКОПД, а также приведены основные атрибуты, характеризующий рассматриваемый процесс.

Проанализированы особенности управления качеством визуальных данных, что позволило выявить ключевые параметры алгоритмов восстановления визуальных данных, основанных на разреженном представлении данных. Проведена оценка качества восстановления визуальных данных с использованием предложенного алгоритма.

Показано, что обоснованный выбор параметров и характеристик ПКОПД в значительной степени сказывается на его эффективности, сроках разработки и ввода в эксплуатацию. При осуществлении анализа вариантов проектных решений ПКОПД предпочтительным будет то, которое в наилучшей мере обеспечивает его соответствие поставленным задачам при приемлемых финансовых и временных ресурсах.

Предложена формализованная процедура оценки и обеспечения качества процессов разработки ПКОПД, включающая в себя 5 этапов, при этом приведены характеристики основных задач, решаемых на каждом из них. Важнейшей составляющей предложенной процедуры является всеобъемлющий учет рисков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе достигнута поставленная цель, имеющая важное значение для организации отечественного производства, и заключающаяся в обеспечении качества ПКОПД на основе научно-методического инструментария повышения результативности процесса их разработки с учетом выдвигаемых требований к качеству обработки и передачи данных.

В работе получены следующие новые научные результаты:

- комплексная модель разработки ПКОПД, включающая в себя модель качества функционирования ПКОПД и модель процесса разработки ПКОПД, основанная на процессном подходе и отличающаяся многокритериальностью и учетом современных технических требований к процессу разработки ПКОПД;
- метод обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД, отличающийся наличием механизма управления рисками в процессе разработки программных комплексов и обеспечивший требуемый уровень качества выпускаемой продукции;
- научно-технические предложения по практической реализации метода обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД, включающие в себя методику управления качеством объектов визуальных данных и формализованную процедуру оценки и обеспечения качества процесса разработки ПКОПД, которые позволили добиться сокращения времени тестирования и отладки одной типовой компоненты программного комплекса, снизить количество допущенных на этапе его разработки ошибок и уменьшить затраты временных ресурсов, связанных с разработкой и вводом программного комплекса в эксплуатацию.

Практическая значимость полученных научных результатов состоит в следующем:

- комплексная модель разработки программных комплексов и реализованный на ее основе алгоритм управления качеством процесса обработки и передачи данных, а также формализованная процедура оценки и

обеспечения качества процессов разработки программных комплексов, учитывающая влияние рисков при реализации проектов, нашли практическое применение при разработке ПО на предприятии ОАО «НИО ЦИТ «Петрокомета»;

- комплексная модель разработки ПКОПД, метод обеспечения результативности процесса разработки ПКОПД, а также научно-технические предложения по его практической реализации нашли практическое применение при разработке базовых программных решений и проведении ОКР на базе ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН);

- разработан типовой стандарт организации «Комплексная оценка качества разработки программных комплексов», который прошел утверждение и внедрение на предприятии ООО «Финист-софт» и позволил усовершенствовать ряд процессов разработки программных комплексов в рамках СМК предприятия;

- результаты исследований использованы в учебном процессе ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» в дисциплинах «Компьютерные технологии управления качеством» и «Компьютерные технологии в инновационной сфере».

Внедрение указанных выше моделей, метода, методики и формализованной процедуры позволило добиться сокращения времени тестирования и отладки одной типовой программной компоненты для ПК в среднем в 1,5-2 раза, а также снижения количества допущенных на этапе разработки ПК ошибок на 10-12% и уменьшения затрат временных ресурсов, связанных с разработкой и вводом в эксплуатацию ПК, в среднем на 15-20%, что подтверждено соответствующими актами о внедрении результатов диссертационной работы.

Таким образом, цель диссертационной работы – достигнута.

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

DMAIC – define measure analyze improve control

MSF – Microsoft solution framework

NAT – network address translation

PSP – personal software process

RUP – rational unified process

SVD – singular value decomposition

TCP – transmission control protocol

TQM – total quality management

UDP – user datagram protocol

ЖЦ – жизненный цикл

ПК – программный комплекс

ПКОПД – программный комплекс обработки и передачи данных

ПС – программное средство

СМК – система менеджмента качества

СТО – стандарт организации

Библиографический список

1. Антохина, Ю.А. Управление результативностью и качеством проектов: монография / Ю.А. Антохина, А.Г. Варжапетян, А.А. Оводенко, Е.Г. Семенова. – СПб.: Политехника, ГУАП, 2013. – 330 с.
2. Антохина, Ю.А. Интеграция моделей, методов и инструментов управления проектами: монография / Ю.А. Антохина, А.Г. Варжапетян, Н. Инянц и др. – СПб.: Политехника, 2015. – 360 с.
3. Антохина, Ю.А. Информационная поддержка процессов улучшения качества технических объектов / Ю. А. Антохина, А.Г. Варжапетян, Е.Г.Семенова. СПб.: Политехника, 2016. -305 с.
4. Беляев, Е. А. Алгоритмы оценки движения в задачах сжатия видеоинформации на низких битовых скоростях / Е. А. Беляев, А. М. Тюрликов // Компьютерная оптика №4, т. 32, - СПб.: ГУАП, 2008, – с. 403 - 413.
5. Бойцов, Б.В. Технологическая модернизация информационно-телекоммуникационных систем на основе интегральных показателей качества. / Бойцов Б.В., Артамонов И.М., Денискин Ю.И. // Труды МАИ. – 2011. – № 49. – С. 52.
6. Васильев, А.С. Проектирование технологических процессов изготовления деталей с учетом взаимного влияния формируемых показателей качества. / А.С. Васильев, А.А. Кудинов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2009. – № 8. – С. 1.
7. Васильев, А.С. Моделирование процессов наследования показателей качества для компьютерной поддержки жизненного цикла изделий. / А.С. Васильев, М.Л. Хейфец, Г.Б. Премент, С.А. Клименко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2009. – № 9. – С. 19-24.
8. Виноградов, Л.В. Экономико-математические методы в управлении качеством. Монография. / Л.В. Виноградов, В.С. Бурылов, В.П. Семенов. - СПб.: СПбГИЭУ, 2011. - 312 с.
9. Волкова, В.Н. Классификация моделей в системном анализе / В.Н.

Волкова, Л.В. Черненькая, В.Е. Магер // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление №174, - СПб.: 2013. – С. 33-43.

10. Граничин, О.Н. Рандомизация получения данных и L1-оптимизация (опознание со сжатием) / О.Н. Граничин, Д.В. Павленко // Автоматика и телемеханика. 2010. №71(11). – С. 2259-2282.

11. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 32 с.

12. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: Стандартинформ, 2015. – 32 с.

13. ГОСТ РВ 0015-002-2012. Системы менеджмента качества. Система разработки и постановки на производство военной техники. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2012. – 42 с.

14. ГОСТ Р ИСО 31000-2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – М.: Стандартинформ, 2012. – 24 с.

15. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-2009. Информационные технологии. Оценка процессов. Часть 1. Концепция и словарь. – М.: Стандартинформ, 2010. – 20 с.

16. ГОСТ 19.101-77. Единая система программной документации. Виды программ и программных документов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 4 с.

17. ГОСТ 28806-90. Качество программных средств. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 8 с.

18. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. – М.: Стандартинформ, 2011. – 100 с.

19. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. – М.: Стандартинформ, 2010. – 54 с.

20. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15271-2002. Информационная технология. Руководство по применению ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207 (Процессы жизненного

цикла программных средств). – М.: Стандартинформ, 2002. – 40 с.

21. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. – М.: Стандартинформ, 2012. – 70 с.

22. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. – М.: Стандартинформ, 2004. – 10 с.

23. ГОСТ Р ИСО/МЭК 16085-2007. Менеджмент риска. Применение в процессах жизненного цикла систем и программного обеспечения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 28 с.

24. ГОСТ Р 1.0-2012. Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения.– М.: Стандартинформ, 2013. – 3 с.

25. ГОСТ Р 1.12-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с.

26. ГОСТ Р 1.4-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения.– Москва, Стандартинформ, 2007. – 6 с.

27. ГОСТ Р 1.5-2012. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения. – Москва, Стандартинформ, 2013. – 23 с.

28. ГОСТ Р ИСО 19011-2012. Руководящие указания по аудиту систем менеджмента. – М.: Стандартинформ, 2013. – 36 с.

29. ГОСТ Р ИСО 9004 – 2010. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. – М.: Стандартинформ, 2011.

30. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-2-2009 “Информационная технология - оценка процесса”. Часть 2 - “Проведение оценки”. – 2009. – 16 с.

31. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-2-2009 “Информационная технология - оценка процесса”. Часть 2 - “Проведение оценки”. – 2009. – 16 с.

32. ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2013. “Информационная технология (ИТ)”. Управление услугами. Часть 1. Требования к системе управления услугами. – 2009.

33. ГОСТ 2.601-2013. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы. - М.: Рособоронстандарт, 2013. – 32с.
34. ГОСТ 34.201-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. - М.: Издательство стандартов, 2002. – 10с.
35. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. – М.: Стандартинформ, 2009. – 5 с.
36. ГОСТ Р 51904-2002 Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию. – М.: Госстандарт России, 2002. – 63 с.
37. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15910-2002 Информационная технология. Процесс создания документации пользователя программного средства. – М.: Госстандарт России, 2002. – 45 с.
38. ГОСТ 15971-90 Системы обработки информации. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 2005. – 13 с.
39. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25021-2014 Информационные технологии (ИТ). Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Элементы показателя качества. – М.: Стандартинформ, 2014. – 45 с.
40. ГОСТ 33707-2016. Информационные технологии (ИТ). Словарь. – М.: Стандартинформ, 2016. – 202 с.
41. ГОСТ Р 56923-2016 Информационные технологии (ИТ). Системная и программная инженерия. Управление жизненным циклом. Часть 3. Руководство по применению ИСО/МЭК 12207 (Процессы жизненного цикла программных средств). – М.: Стандартинформ, 2016. – 110 с.
42. Гришин, С. В. Обзор блочных методов оценки движения в цифровых видео сигналах / С. В. Гришин, Д. С. Ватолин, А. С. Лукин, С. Ю.

Путилин, К. Н. Стрельников // Программные системы и инструменты. Тематический сборник. – 2008. – № 9. стр.50-62.

43. Дурнев, Р.А. Оценка трудоемкости НИОКР. Влияние показателей качества научных результатов / Р.А. Дурнев, И.В. Жданенко // Современные наукоемкие технологии. – 2013. - № 11. – С. 46-51.

44. Ильичев, А.В. Эффективность проектируемой техники: Основы анализа. / А.В. Ильичев. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.

45. Клячкин, В. Н. Модели и методы статистического контроля многопараметрического технологического процесса. / В. Н. Клячкин // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 196 с.

46. Клячкин, В. Н. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии: учеб. Пособие / В. Н. Клячкин. // М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. – 304 с.

47. Клепиков, А.С. Особенности внедрения системы менеджмента качества в научно-исследовательских учреждениях [Электронный ресурс] / А.С. Клепиков, М.В. Моисеенко, С.А. Погребняк. – Режим доступа: <http://www.rai.org/about/persons/royzenzon/pages/223.doc>, свободный. – Загл. с экрана.

48. Коровкин, М.В. Организация процесса управления качеством научно-технических разработок в технопарке / М.В. Коровкин, С.Г. Чернета // Качество в производственных и социально-экономических системах. Сборник научных трудов 2-ой Международной научно-технической конференции. – 2014. – С. 321-325.

49. Корчагин, Д.О. Система менеджмента качества на этапе проектирования и разработки научно-технической продукции / Д.О. Корчагин, А.Ю. Кузьмичев, В.Е. Токарев // Стандарты и качество. – 2010. - № 8. – С. 84-86.

50. Ларин, С.Н. Модель оценки качества научно-технической продукции / С.Н. Ларин, Н.А. Соколов // Актуальные вопросы экономических наук. – 2010. - № 13. – С. 216-220.

51. Мирончук, В.А. Методические подходы к формированию системы оценок эффективности инновационных процессов организационно-экономических систем / В.А. Мирончук // Научный журнал КубГАУ. – 2014. - № 96 (02). – С. 87.
52. Молчанов, А.А. Особенности формирования системы менеджмента качества в научно-исследовательских учреждениях / А.А. Молчанов // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2010. - № 5. – С. 98-100.
53. Молчанов, А.А. Развитие мотивационного механизма в системе менеджмента качества научно-исследовательской организации: автореферат дис. ...канд. экон. наук: 08.00.05 / Молчанов Алексей Александрович. – Саратов, 2011. – 20 с.
54. Покровская, М.В. Основные положения организационно-методического обеспечения качества научно-технической продукции в техническом университете / М.В. Покровская, А.В. Сидорин, В.В. Сидорин // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2013. - № 6. – С. 64-70.
55. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 1 ноября 2013 г. №2036-р “Стратегия развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014-2020 годы и на перспективу до 2025 года”.
56. Ричардсон, Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. // Я. Ричардсон. М.: Техносфера, 2005. – 368 с.
57. Савельев, В.Ю. Особенности менеджмента качества в научных организациях России / В.Ю. Савельев, С.Д. Снегирев // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 4 (24). – С. 187-192.
58. Семенова, Е.Г. Основы обеспечения качества / Е.Г. Семенова. – СПб: ГУАП, 2008. – 147 с.
59. Ястребов, В. А. Методы обеспечения качества программных средств на стадиях жизненного цикла продукции / В.А. Ястребов, Е.Г. Семенова, // Вопросы радиоэлектроники №10, 2017. стр. 80-82.

60. Ястребов, В. А. Интегральная оценка и обеспечение качества разработки программных комплексов / В.А. Ястребов, Е.Г. Семенова // Известия Тульского государственного университета. №7, 2017. стр. 259-267.

61. Семенова, Е.Г. Вероятностная модель оценки рисков проекта разработки программного обеспечения / Е.Г. Семенова, В.А. Копычев // Вопросы радиоэлектроники, сер. Радиолокационная техника. – № 2. – С. 122-130.

62. Семенова, Е.Г. Использование методов менеджмента качества в образовательном процессе. / Е.Г. Семенова, А.Г. Варжапетян, // Качество и ИПИ (CALS) – технологии. 2006. - №2. – с.42-47.

63. Сулемова, А.А. Практика перехода к работе с новой системой менеджмента / А.А. Сулемова // Материалы Международной научно-технической конференции, 1-5 декабря 2014 г. – 2014. – С. 267-270.

64. Стандарт ISO/IEC 14496-10:2003/Cor1:2004 [Электронный ресурс] // ISO. –2004. – Режим доступа: <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.263/>

65. Стандарт ISO/IEC 14496-10:2003/Cor1:2004 [Электронный ресурс] // ISO. –2003. – Режим доступа: <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/T-REC-H.264>

66. Стандарт ISO/IEC 14496-1:2010 [Электронный ресурс]. // ISO. – 2010. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/55688.html>

67. Тушавин, В.А. Управление качеством ИТ-процессов производственного предприятия: монография. // В.А. Тушавин. М.: Научные технологии. – 2015. – 247 с.

68. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. №203 “О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы”.

69. Федюкин, В.К. Управление качеством: проблемы, исследования, опыт: сборник научных трудов. / В.К. Федюкин – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2014. – 238с.

70. Федюкин В. К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной

продукции: учебное пособие / В. К. Федюкин. – Москва : КНОРУС, 2017. – 320 с.

71. Ястребов, В.А. Повышение качества обработки визуальных данных в автоматизированных производственных системах. / В. А. Ястребова // Стандарты и Качество, – 2017. – № 7. – С. 102.

72. Ястребов, В.А. Базовые методы и принципы построения алгоритмов восстановления регионов изображений / В.А. Ястребов, А.И. Веселов, М.Р. Гильмутдинов // Информационно-управляющие системы. – 2015. – № 5. С. 34–42.

73. Ястребов, В.А. Управление качеством объектов визуальных данных с использованием методов математического моделирования / В.А. Ястребов // Стандарты и качество. – 2017. – № 6. – С. 108.

74. Aharon, M. K-SVD: An Algorithm for Designing Overcomplete Dictionaries for Sparse Representation. / M. Aharon, M., M. Elad, A. Bruckstein. // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2006. – №. 54. –P. 4311–4322.

75. Andrews, K. The Development of Turbo and LDPC Codes for Deep-Space Applications / K. Andrews // Proceedings of the IEEE. – 2007. –Vol. 95.

76. Bertalmio, M. Image Inpainting. / M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles , C. Ballester // Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. –2000. –P. 417–424.

77. Bovik, A. C. The Essential Guide to Video Processing. / A. C. Bovik // Elsevier inc., –2009. –P. 777.

78. Brussee, W. Statistics for Six Sigma Made Easy! / W. Brussee // McGraw-Hill Education. –2012. –P. 304.

79. Bryt, O. Compression of Facial Images using the K-SVD Algorithm. // O. Bryt, M. Elad // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 2008. №. 19, –P. 270–282.

80. Criminisi, A. Region Filling and Object Removal by Exemplar-Based Image Inpainting. / A. Criminisi, P. Perez, K. Toyama // IEEE Transactions on Image Processing, vol.13. –2004. №. 9.

81. Chan, T. F., Shen J. Mathematical Models for Local Nontexture / T. F. Chan, J. Shen // *Inpaintings*. SIAM J. Appl. Math. –2002. №62. –P. 1019-1043.
82. Chen S. S., Donoho D. L., Saunders M. A. Atomic Decomposition by Basis Pursuit. // *SIAM Review*. 2001.№. 43. –P. 129–159
83. Cheng, W. Robust / W. Cheng, C. Hsieh, S. Lin, C. Wang, J. Wu // *Algorithm for Exemplar Based Image Inpainting*. Proceedings of International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization, 2005. –P. 64–69.
84. Adaptive greedy approximations. / G. Davis, S. Mallat, M. Avellaneda // *Constructive Approximation*. 1997. № 13. –P. 57–98.
85. Donoho, D. L / D. L. Donoho, M. Elad, V. N. Temlyakov / *Stable Recovery of Sparse Overcomplete Representations in the Presence of Noise*. // *IEEE Transactions on Informational Theory*. 2006. № 52(1). –P. 6–18.
86. Elad, M. Image Denoising via Sparse and Redundant Representations over Learned Dictionaries. / M. Elad, M. Aharon // *IEEE Transactions on Image Processing*. 2006. № 15. –P. 3736–3745.
87. Elad M. Simultaneous Cartoon and Texture Image Inpainting using Morphological Component Analysis (MCA) / M. Elad, J.-L. Starck, P. Querre, D. Donoho // *Applied and Computational Harmonic Analysis*. 2005. №19 (3). –P. 340-358.
88. Fehlmann, T. Statistical Process Control for Software Development – Six Sigma for Software revisited / T. Fehlmann. – Zurich, Switzerland // Euro Project Office AG Zeltweg 50, CH-8032, 2006.
89. He L., Zhang Y. A Rotate-Based Best Neighborhood Matching Algorithm/ L. He, Y. Zhang // *International Conference on Computer and Information Technology*, 2010. –P. 1393–1396.
90. Hsieh C.-T. Fast Image Restoration Using the Multi-Layer Best Neighborhood Matching Approach. / C.-T. Hsieh, Y.-L. Chen, C.-H. Hsu // *Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Applied Computer Science*, 2007. –P. 441–446.
91. ISO/IEC 33020:2015. Information technology -- Process assessment --

Process measurement framework for assessment of process capability. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/54195.html>

92. Jin Li Image Compression: The Mathematics of JPEG 2000 (АНГЛ.) // Modern Signal Processing. — MSRI Publications, 2003. — Vol. 46. –P. 185-221.
93. Kang, S.J. Scene Change Detection Using Multiple Histogram, for Motion-Compensated Frame Rate Up-Conversion. / S.J. Kang, S. Yoo, and Y. H. Kim // Journal of Display Technology, Volume 8, No. 3, March 2012. –P. 121-126.
94. Kung, W.-Y. Spatial and Temporal Error Concealment Techniques for Video Transmission Over Noisy Channels. / W.-Y. Kung, C.-S. Kim, C. C. Kuo // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(7). –P. 789-803.
95. Kurata, H. Notes on Hausdorff measure and classical capacity, [Text] / H. Kurata. // Mem. Fac. Sci. Eng. Shimane Univ. Series B: Mathematical Science 37 (2004). –P. 15–48.
96. Li, W. Fast Block-Based Image Restoration Employing the Improved Best Neighborhood Matching Approach. / W. Li, D. Zhang, Z. Liu, X. Qiao // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2005, 35(4). –P. 546–555.
97. Lou, Y. Direct Sparse Deblurring. / Y. Lou, A. L. Bertozzi, S. Soatto // Journal of Mathematical Imaging and Vision. 2011. № 39(1). –P. 1–12.
98. Lloyd, S. P. Least Squares Quantization in PCM. / S. P. Lloyd // IEEE Transactions on Information Theory. 1982. № 28(2). –P. 129–136.
99. Mairal, M. Sparse Representation for Color Image Restoration / M. Mairal, M. Elad // IEEE Transactions on Image Processing. 2007. №17(1). –P. 53-69.
100. Nalawade, V. A. Comparative Analysis of Exemplar Based and Wavelet Based Inpainting Technique. / V. V. Nalawade, S. D. Ruikar // International journal of electronics and computer science engineering, 2012, 1(3). –P. 1034-1043.
101. Mumford, D. Optimal approximations by piecewise smooth functions and associated variational problems / D. Mumford D., J. Shah // Comm. Pure Appl. Math., 42 (1989). –P. 577-685.

102. Nguen, D. Video Error Concealment Using Sparse Recovery and Local Dictionaries. / D. Nguen, M. Dao, T. Tran // Processing of ICASSP. 2011. –P. 1125-1128.
103. Nemethova, O. Flexible Error Concealment for H.264 Based on Directional Interpolation. / O. Nemethova, A. Al-Moghrabi, M. Rupp // Proceeding of International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, 2005. –P. 1255-1260.
104. Pati, Y. C. Orthogonal matching pursuit: Recursive Function Approximation with Applications to Wavelet Decomposition. / Y. C. Pati, R. Rezaifar, Y. C. P. R. Rezaifar, P. S. Krishnaprasad // Proceedings of the 27 th Annual Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. 1993. –P. 40–44.
105. Pena, M.G. A Comparative Study of Three Image Matching Algorithms: Sift, Surf, and Fast. / Pena M.G. // BiblioBazaar, 2012.
106. Peterson and Davie, Computer Networks: A Systems Approach, Third Edition / Peterson and Davie 2003.
107. Qaratlu, M. M. Intra-frame loss concealment based on directional extrapolation. / M. M. Qaratlu, M. Ghanbari // Signal Processing: Image Communication. 2011. №26. –P. 304-309.
108. Rudin, L. Nonlinear total variation noise removal algorithm. / L. Rudin, S. Osher, E. Fatemi. // Physica D. 1992. №60 (1). –P. 259–268.
109. Salama, P. Error Concealment in Encoded Video Streams. / P. Salama, N B. Shroff, E. J. Delp // Signal Recovery Techniques for Image and Video Compression and Transmission, 1998, –P. 119-233.
110. Soleymani, M. R., Khandani A. K. Vector Trellis Quantization for Noisy Channels. / Soleymani M. R., Khandani A. K. // Advances in Speech Coding. Springer, 1991.
111. Singh, R. Comparison of multiple description coding and layered coding based on network simulations. / R. Singh, A. Ortega, L. Perret, and W. Jiang // in Proc. Visual Communications and Image Processing, San Jose, CA, USA, Jan. 2000, SPIE, vol. 3974. –P. 929–939.

112. Shen J., Inpainting and fundamental problem of image processing, / J. Shen // SIAM News, Volume 36, Number 5, June 2003
113. SIPI image database. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc>
114. Ulysses, J. N. Measuring Similarity in Medical Registration. / J. N. Ulysses, A. Conci // 17th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, 2010.
115. Wall, M., Rechtsteiner A., Rocha L. Singular Value Decomposition and Principal Component Analysis. / M. Wall, A. Rechtsteiner, L. Rocha // A Practical Approach to Microarray Data Analysis. 2003. –P. 91–109.
116. Wang, Z. Best Neighborhood Matching: an Information Loss Restoration Technique for Block-Based Image Coding Systems. / Z. Wang, Y. Yu, D. Zhang // IEEE Transactions on Image Processing, 1998, vol. 7. –P. 1056–1061.
117. Wang, Y. Error resilient video coding using multiple description motion compensation. / Wang Y. and. Lin S, // in Proc. Workshop on Multimedia Signal Processing.
118. Weiming Hu. A survey on visual content-based video indexing and retrieval. / X. Nianhua, X. Zeng, S. Maybank. // IEEE transactions on systems, man and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews, 41(6), 2011.
119. Xiang Y. An Efficient Spatio-Temporal Boundary Matching Algorithm for Video Error Concealment. / Y. Xiang, L. Feng, S. Xie, Z. Zhou // Multimedia Tools and Applications. 2011. №52. –P. 91-103.
120. Xu Z. Image Inpainting by Patch Propagation Using Patch Sparsity. / Z. Xu , J. Sun // IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(5). –P. 1153–1165
121. Xiong Z. Fast directional image interpolation with difference projection. /Z. Xiong, Y. Zhang, X. Sun, Wu F. // ICME'09 Proceedings of 2009 IEEE international conference on Multimedia and Expo. –P. 81 – 84.
122. Xiph.org Video Test Media [derf's collection]. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://media.xiph.org/video/derf/>
123. Yang, J. Linear Spatial Pyramid Matching Using Sparse Coding for

Image Classification. / J. Yang, K. Yu, Y. Gong., T. Huang. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR). 2009.

124. Yang, J. Image Super-Resolution via Sparse Representation. / J. Yang., J. Wright, T. S. Huang, Y. Ma // IEEE Transactions on Image Processing. 2010. №. 19. –P.. 2861–2873.

125. Zhang, D. Image Information Restoration Based on Long-Range Correlation. / D. Zhang, Z. Wang // IEEE transactions on circuits and systems for video technology, 2002, vol. 12, pp. 331–341.

126. Zhang, H. Non-Local Kernel Regression for Image and Video Restoration. / H. Zhang, J. Yang, Y. Zhang, T. S. Huang // ECCV 2010: Computer Vision – ECCV 2010. –P. 566-579.

127. Zou, R. Personal photo album compression and management. / R. Zou, O.C. Au, G. Zhou., W. Dai., W. Hu, P. Wan // In ISCAS, –P. 1428-1431. IEEE, 2013.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Ключевые факторы модели, предназначенной для оценки важности влияния потерь на качество визуальных данных.

Таблица А.1 - Факторы, позволяющие предсказать важность потери отдельного сетевого пакета на качество визуальных данных

<i>№</i>	<i>Обозначение фактора</i>	<i>Описание</i>
1	MOTX	Среднее значение вектора движения по оси <i>x</i> , посчитанное для всех макроблоков, присутствующих в пакете
2	MOTY	Среднее значение вектора движения по оси <i>y</i> , посчитанное для всех макроблоков, присутствующих в пакете
3	MotionVarX	СКО векторов движения по оси <i>x</i> , посчитанное для всех макроблоков, присутствующих в пакете
4	MotionVarY	СКО векторов движения по оси <i>y</i> , посчитанное для всех макроблоков, присутствующих в пакете
5	MOTM	$\sqrt{MOTX^2 + MOTY^2}$
6	HighMOT	Фактор принимает значение 1, если $MOTM > \sqrt{2}$ и 0 – в противном случае
7	ResidEng	Среднее значение остаточной энергии после проведения процедуры компенсации движения
8	SigMean	Среднее значение интенсивности кадра в момент времени <i>t</i>
9	SigVar	СКО интенсивности кадра в момент времени <i>t</i>
10	DistFromSceneCut	Расстояние между первым кадром на котором проявляется влияние искажений до ближайшего кадра смены (до или после). В первом случае величина принимает положительные значения, а во втором – отрицательные.
11	DistToRef	Расстояние между первым кадром на котором проявляется влияние искажений до ближайшего опорного кадра (до или после). В первом случае величина принимает положительные значения, а во втором – отрицательные.

12	MaxDistToRef	Максимум среди всех $ DistToRef $ в слайсе
13	FarConceal	Фактор принимает значение 1, если $MaxDistToRef \geq 3$ и 0 – в противном случае.
14	OtherSceneConceal	Фактор принимает значение 1, если $ DistFromSceneCut < MaxDistToRef $ и 0 – в противном случае.
15	BeforeSceneCut	Фактор принимает значение 1, если $-0,4 s < DistFromSceneCut < 0 s$ и 0 – в противном случае.
16	AfterSceneCut	Фактор принимает значение 1, если $0 s < (DistFromSceneCut + Duration) < 0,25 s$ и 0 – в противном случае.
17	NotStill	Фактор имеет значение 1, при медленном движении и 0 в противном случае
18	SpatialExtent	Количество последовательных искаженных слайсов
20	Duration	Количество последовательных кадров на которые оказало влияние потеря
23	Error1Frame	Фактор принимает значение 1, если потеря распространяется только на один кадр ($Duration = 1$)
24	CumulativeMSE	Сумма СКО всех кадров на которые оказывает влияние потеря
25	CumulativeSSIM	Сумма SSIM всех кадров на которые оказывает влияние потеря

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Утверждаю
Технический директор

_____ В. Б. Фролов

«18» апреля 2017 г.

ООО Научно-производственная компания «Финист-софт»

Система менеджмента качества

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Комплексная оценка качества разработки программных комплексов

СМК СТО 1.0-2017

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к порядку планирования, разработки и проведению комплексной оценки качества процесса разработки программных комплексов в рамках системы менеджмента качества.

1.2 Требования стандарта обязательны для исполнения работниками всех подразделений организации.

2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы ссылки на нормативные документы, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень нормативных документов

№	Код документа	Наименование документа
1	ГОСТ Р 1.0 – 2012	Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения.
2	ГОСТ Р 1.12 – 2004	Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения.
3	ГОСТ Р 1.4-2004	Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения
4	ГОСТ Р 1.5-2012	Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения
5	ГОСТ Р ИСО 19011-2012	Руководящие указания по аудиту систем менеджмента.
6	ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93	Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению
7	ГОСТ Р ИСО 9000-2015	Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь
8	ГОСТ Р ИСО 9001 - 2015	Системы менеджмента качества. Требования

3. ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

В стандарте применены термины по ГОСТ Р 1.0, ГОСТ Р 1.12, ГОСТ Р ИСО 9000-2015, а также следующие термины с соответствующими определениями:

СТО - стандарт организации: стандарт, разработанный и утвержденный организацией для целей стандартизации, а также для совершенствования производства и обеспечения качества продукции, выполнения работ, оказания услуг, а также для распространения и использования полученных в различных областях знаний результатов исследований (испытаний), измерений и разработок;

ПК – программный комплекс;

СМК – система менеджмента качества.

4. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1 Цели процесса комплексной оценки качества процесса разработки ПК:

- определение требований заказчика и основных показателей качества разрабатываемого ПК;
- расчет комплексного показателя, характеризующего качество процесса разработки ПК, включающего оценку результативности его функционирования, а также влияние потенциальных рисков.

4.2 Результаты процесса:

- структурированный набор требований, определенный заказчиком;
- совокупность показателей качества процесса разработки ПК;
- комплексная оценка качества процесса разработки ПК.

Объектом оценки является процесс разработки ПК.

4.3 Проведение оценки обосновано:

- необходимостью обеспечения качества процесса разработки ПК;
- необходимостью оценки результативности функционирования СМК организации.

4.4 Периодичность оценки

Регулярность проведения оценки качества разработки ПК регламентируется соответствующей программой, которая утверждается генеральным директором организации (ПРИЛОЖЕНИЕ А).

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПК

5.1 Подготовка проведения оценки

Подготовка проведения оценки включает:

- разработку плана и регламента проведения оценки;
- формирование группы экспертов;
- проведение инструктивного совещания.

5.2 Описание процесса проведения оценки

При проведении комплексной оценки качества процесса разработки ПК осуществляются следующие этапы:

- анализ основных требований заказчика и прочих заинтересованных сторон;
- формирование набора значимых показателей качества оцениваемого процесса разработки ПК;
- ранжирование показателей в соответствии с требованиями заказчика и других заинтересованных сторон;
- измерение значений наиболее значимых показателей.

Результаты проведенного анализа значимых показателей качества оформляются в виде таблицы, приведенной в приложении Б.

Обоснованный выбор параметров и характеристик ПК в значительной степени сказывается на его результативности его функционирования, сроках разработки и ввода в эксплуатацию. При этом под результативностью комплекса понимается степень его приспособленности к выполнению поставленных перед ним задач. При осуществлении анализа вариантов проектных решений ПК предпочтительным будет то, которое в наилучшей мере обеспечивает его соответствие поставленным задачам при приемлемых финансовых и временных ресурсах.

Реализация процедуры оценки качества процесса разработки ПК производится в соответствии с приложением В, при этом расчет комплексного показателя P_k осуществляется следующим образом:

$$\begin{aligned}
 P_k &= \max P(\{\alpha\}_k, \{\beta\}_k, \{\gamma\}_k), \\
 \{\alpha\}_k &= [\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \dots, \pi_s, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_r], \\
 \{\beta\}_k &= [\beta_{нк}^h, \beta_{ок}^o], \\
 \{\gamma\}_k &= [\gamma_{нк}^h, \gamma_{ок}^o], \\
 C_k &\leq C(\{\alpha\}_k), \\
 T_k &\leq T(\{\alpha\}_k),
 \end{aligned}$$

где P_k – комплексный показатель качества процесса разработки ПКОПД, $\{\alpha\}_k$ – параметры ПКОПД, рассматриваемые на этапе разработки; $\{\beta\}_k$, $\{\gamma\}_k$ – соответственно, условия функционирования для первой и второй групп; π_i , τ_j – соответственно, проектный и тактический параметры разрабатываемого ПКОПД; $\{\beta\}_{нк}$ и $\{\beta\}_{ок}$ – диапазон характеристики функционирования, рассматриваемой в процессе разработки; C_k , T_k – соответственно, заданные стоимость и сроки разработки проекта.

В ряде случаев расчет комплексного показателя может быть осуществлен по упрощенной формуле:

$$P_k = \sum \mu_i * R_i,$$

где μ_i – коэффициент значимости i -го показателя качества, R_i – i -ый показатель качества.

5.3 Подготовка, утверждение и рассылка отчета по оценке

Отчет по оценке должен содержать:

- результаты проведенной оценки качества разработки ПК,
- описание выявленных в процессе разработки рисков,
- рекомендации, связанные с улучшением процесса разработки ПК,
- список лиц, которым направляется отчет о результатах оценки,
- подписи членов экспертной группы.

Результаты отчета оформляются по форме, приведенной в приложении Г.

6. УПРАВЛЕНИЕ ЗАПИСЯМИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ

6.1 Программа проведения оценок

Программа проведения оценок качества разработки различных ПК составляется на каждый год и оформляется по форме, представленной в приложении Д.

6.2 Материалы экспертной группы

Материалы экспертной группы представляют собой заполненные формы оценки показателей качества, по одной форме на каждый проект компании, выполненный в оцениваемый период.

6.3 Результаты оценки

Результаты оценки представляют собой сводную таблицу значений показателей качества по всем ПК компании в оцениваемый период. Форма таблицы для сводных оценок представлена в приложении Е.

7. ПОЛНОМОЧИЯ, ОБЯЗАННОСТИ, ТРЕБОВАНИЯ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ АУДИТОРОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ОЦЕНКУ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПК

В процессе реализации программы аудита осуществляется оценка характеристик процессов разработки ПК, потребности и ожидания заинтересованных сторон, совокупности возникающих рисков для проверяемой организации, а также уровень достигнутого развития системы менеджмента качества и др.

В процессе осуществления мониторинга программы аудита руководитель группы должен постоянно контролировать ее успешную реализацию и оценивать следующие параметры:

- деятельность каждого из членов группы;
- обратную связь от руководства организации по отношению к аудиторам;
- совокупность данных, выявленных при аудите;

- выявленный уровень результативности СМК и пр.

К членам аудиторской группы предъявляются такие требования, как восприимчивость, заключающаяся в осведомленности и способности к анализу ситуаций; открытость и непредубежденность, связанная с желанием и готовностью воспринимать альтернативные идеи или точки зрения, а также самостоятельность, т. е. действовать и выполнять свои функции независимо, результативно взаимодействуя с другими и ряд других.

Важнейшим качеством аудитора является наличие необходимых знаний и навыков, обеспечивающих достижение намеченных результатов.

8. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Для успешной реализации оценки качества процесса разработки ПК необходимы соответствующие информационные ресурсы, включающие в себя данные мониторинга процессов, результаты проведения аудитов, а также анализа СМК организации.

9. ТРЕБОВАНИЯ К РЕСУРСАМ

При осуществлении оценки качества процесса разработки ПК от организации требуется соответствующее ресурсное обеспечение, включающее в себя оборудование, информационные и коммуникационные технологии, а также средства для мониторинга и измерения, которые играют важную роль для поддержки и постоянного улучшения СМК.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Форма оценки показателей качества процесса разработки ПО

Утверждаю

Генеральный директор

(ФИО)_____
(Уч. степень, звание)

« ____ » _____ 201_ г.

Карта оценки показателей качества № _____

1. Общие сведения о разрабатываемом ПК:

Реквизиты организации-разработчика	
Даты начала и окончания этапа разработки ПК	
Количество участников разработки	
Бюджет	

2. Показатели качества процесса разработки

№	Показатель	Значение
R ₁	Отношение реальных сроков к запланированным	
R ₂	Отношение реального бюджета к запланированному	
R ₃	Доля выполненных требований, %	
R ₄	Отношение объема доработок к общему объему работ	
R ₅	Количество запросов на изменение на программный компонент (шт.)	
R ₆	Количество обращений в техподдержку на программный компонент (шт.)	
R ₇	Среднее время исправление ошибки (часы)	
R ₈	Объем документации на программный компонент (стр.)	
R ₉	Отношение затрат на рефакторинг к общим затратам (шт.)	
R ₁₀	Средние затраты на выполнение задачи (человеко-час)	
R ₁₁	Доля ошибок, выявленных на этапе тестирования, %	
R ₁₂	Среднее время, затрачиваемое на обновление версии ПК	
R ₁₃	Количество точек контроля результативности работы ПК	
R ₁₄	Средняя цикломатическая сложность компонента ПК	
R ₁₅	Средняя связанность программных компонент	

Руководитель разработки ПК: _____ / _____ /

Дата: _____

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Ранжирование требований заказчика и заинтересованных сторон

Требование		R ₁	R ₂	...	R _N
Требование	Оценка				
Требование 1	1		+		
Требование 2	5				+
...		+			
Требование N	4		+		

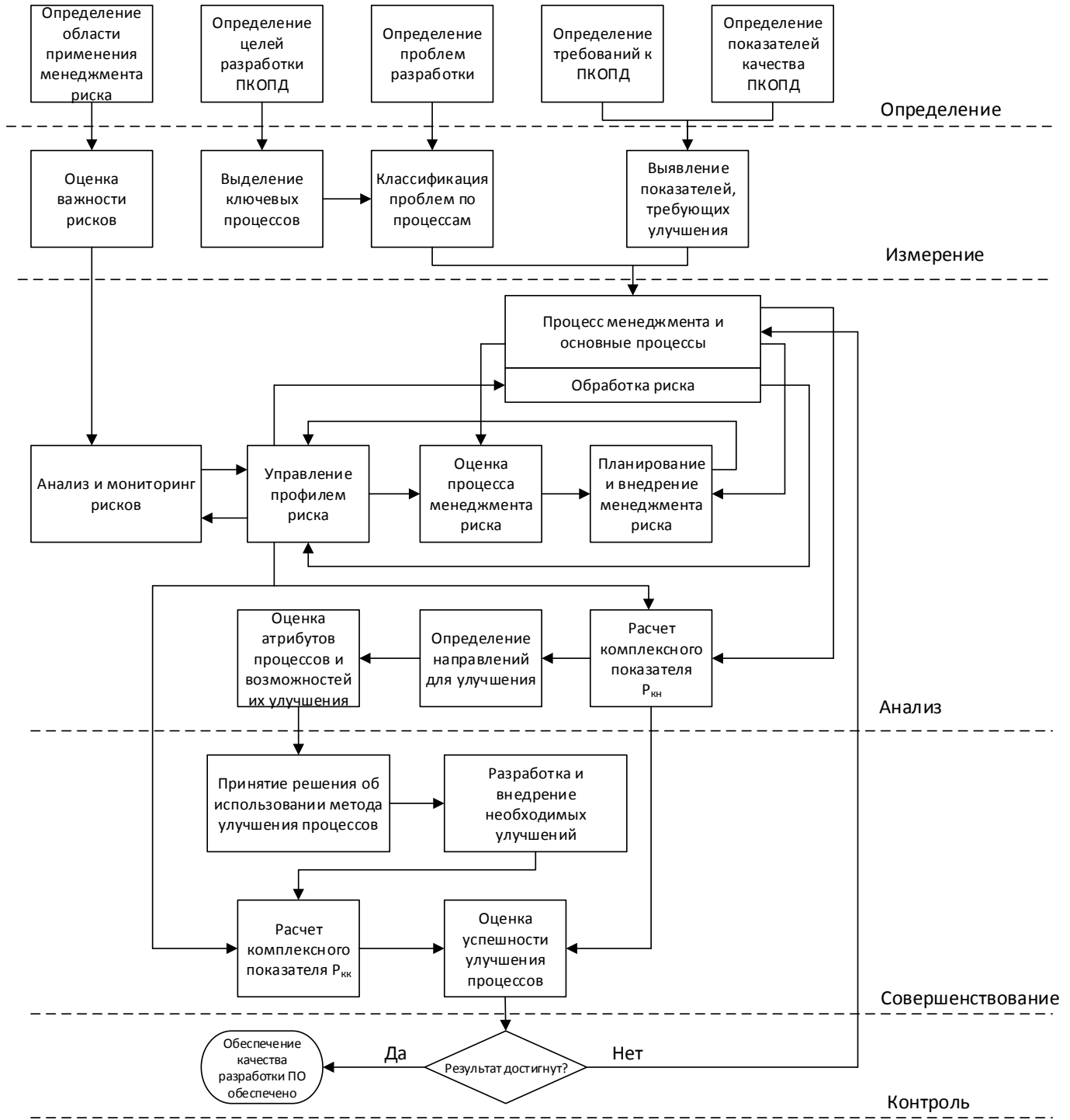
Оценка значимости требований производится по 5-балльной шкале:

- 5 – критическая важность
- 4 – очень важно
- 3 – очень желательно
- 2 – желательно
- 1 – желательно, но не обязательно

Значение в ячейках таблицы показывает связь между требованиями и показателями качества, при этом знак “+” указывает, что рассматриваемый показатель связан с выполнением определенного требования.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Описание процедуры оценки качества процесса разработки ПК



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Форма отчета по результатам расчета комплексного показателя качества процесса разработки ПК

ОТЧЕТ о результатах оценки качества разработки ПК	Лист: Всего листов:												
Руководитель экспертной группы _____ / _____ / «__» «_____» 201__ г													
Наименование ПК:													
Функциональная область ПК:													
Экспертная группа: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">должность</td> <td style="text-align: center;">Ф. И. О.</td> <td style="text-align: center;">подпись</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">должность</td> <td style="text-align: center;">Ф. И. О.</td> <td style="text-align: center;">подпись</td> </tr> </table>		_____	_____	_____	должность	Ф. И. О.	подпись	_____	_____	_____	должность	Ф. И. О.	подпись
_____	_____	_____											
должность	Ф. И. О.	подпись											
_____	_____	_____											
должность	Ф. И. О.	подпись											
Критерии оценки:													
Результаты оценки:													
Предложения по обеспечению качества разработки ПК:													
Руководитель разработки ПК: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">должность</td> <td style="text-align: center;">подпись</td> <td style="text-align: center;">Ф.И.О.</td> </tr> </table>		_____	_____	_____	должность	подпись	Ф.И.О.						
_____	_____	_____											
должность	подпись	Ф.И.О.											

ПРИЛОЖЕНИЕ Д**Программа проведения оценок качества разработки ПК**

					Лист: Всего листов:
Утверждаю Генеральный директор _____ (ФИО) _____ (Уч. степень, звание) « ____ » _____ 201_г.					
Программа проведения оценок на 201__ / __ год					
№ ПК	Сроки проверки начало/окончание	ФИО руководителя экспертной группы	ФИО экспертов	Ресурсы, необходимые для выполнения программы аудита	Отметка о выполнении программы аудита, причины переноса
1					
2					
...					
N					

Руководитель разработки ПК:

_____ / _____ /

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
Форма сводных оценок ПК

№ ПК \ R	R														
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅
1															
2															
...															
N															

Комплексный показатель качества процесса разработки ПК

№ ПК	1	2	...	N
Комплексный показатель P _{kk}				

Руководитель группы экспертов: _____ / _____ /
Руководитель разработки ПК: _____ / _____ /

Дата проведения оценки: « ____ » « _____ » 201__ г.

ПРИЛОЖЕНИЕ В АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Санкт-Петербургский институт
информатики и автоматизации
Российской академии наук
(СПИИРАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор СПИИРАН

199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39

Телефон: (812)328-33-11

Факс: (812)328-44-50

E-mail: spiiiran@iias.spb.su

<http://www.spiiiras.nw.ru>

ОКПО 04683303. ОГРН 1027800514411

ИНН/КПП 7801003920/780101001

член-корреспондент РАН

Р.М.Юсупов



23.01. 2017 г.

23.01.2017 № 1164-8/11/148

АКТ

О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ РАБОТЫ

аспиранта кафедры Инноватики и интегрированных систем качества
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
Ястребова Виктора Анатольевича

Комиссия в составе:

Председатель – Заведующий лабораторией Информационных технологий на транспорте СПИИРАН, доктор технических наук, профессор
Искандеров Юрий Марсович;

Члены комиссии:

- Ученый секретарь СПИИРАН,
кандидат военных наук, доцент Силла Евгений Петрович;
- старший научный сотрудник СПИИРАН,
кандидат технических наук Потапычев Сергей Николаевич;

составила настоящий акт в том, что в Федеральном государственном бюджетном учреждении Российской академии наук Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН) при разработке базовых программных решений по обработке цифровых наборов пространственных данных, и проведении:

ОКР «Создание программно-аппаратного комплекса управления системой освещения обстановки Военно-морского Флота», Шифр: «Алеврит», выполненной по Государственному контракту № 21521300000026112/ 71346;

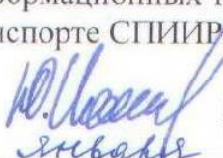
ОКР «Создание оперативно-тактического тренажерного комплекса ВМА», Шифр: «Автоматизм», выполненной по Государственному контракту № 217245000000567811/ 72312;

использованы следующие результаты научной работы аспиранта кафедры Инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения Ястребова Виктора Анатольевича:


1. Комплексная модель разработки программных комплексов обработки и передачи пространственных данных, включающая подмодели качества функционирования и процесса разработки указанных комплексов.
2. Метод обеспечения результативности разработки программных комплексов обработки и передачи пространственных данных.
3. Научно-технические предложения по практической реализации метода обеспечения результативности программных комплексов обработки и передачи пространственных данных, включающие методику управления качеством объектов данных с учетом потребностей пользователей и формализованную процедуру оценки, и обеспечения качества процессов разработки указанных комплексов.

Внедрение указанных результатов позволило добиться сокращения затрат на разработку и кодирование программных комплексов обработки и передачи пространственных данных на 10-12%, сократить время формирования цифровых наборов пространственных данных на 20-25% в среднем, а так же добиться сокращения времени тестирования и отладки одной типовой программной компоненты для указанных комплексов в среднем в 1,5-2 раза.

Заведующий лабораторией
Информационных технологий на
транспорте СПИИРАН


Искандеров Ю.М.
«23» января 2017 г.

Ученый секретарь СПИИРАН


Силла Е.П.
«23» января 2017 г.

Старший научный сотрудник СПИИРАН


Потапычев С.Н.
«23» января 2017 г.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
(ГУАП)

ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, Санкт-Петербург, 190000, Тел. (812) 710-6510, факс (812) 494-7057,
E-mail: common@aanet.ru ОГРН 1027810232680, ИНН/КПП 7812003110/783801001

№ _____

На № _____

от _____



АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационной работы
Ястребова Виктора Анатольевича

«Метод управления качеством разработки программных комплексов обработки и передачи данных»

Комиссия в составе:

Председатель – доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества В.М. Милова

Члены комиссии: заместитель заведующего кафедрой инноватики и
интегрированных систем качества М.С. Смирнова

доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества М.А. Добросельский

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Метод управления качеством разработки программных комплексов обработки и передачи данных», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук:

- метод обеспечения результативности разработки программного комплекса обработки и передачи данных (ПКОПД), основанный на использовании совокупности автоматизированных тестов, направленных на решение задач, связанных с управлением качеством проектных решений,
- формализованная процедура оценки и обеспечения качества процессов разработки ПКОПД, которая включает в себя анализ и мониторинг рисков, а также расчет комплексного показателя, характеризующего степень удовлетворения требований потребителей и других заинтересованных сторон,

– использованы в деятельности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Материалы диссертационной работы Ястребова Виктора Анатольевича были использованы в учебном процессе в дисциплинах «Компьютерные технологии управления качеством», «Компьютерные технологии в инновационной сфере», читаемых на кафедре №5 Инноватики и интегрированных систем качества для студентов направлений 27.04.02 «Управление качеством», 27.04.05 «Инноватика».

Председатель комиссии
канд. техн. наук, доцент

В.М. Милова

Члены комиссии:
зам. заведующего кафедрой
инноватики и интегрированных систем качества
канд. техн. наук, доцент
доцент кафедры
инноватики и интегрированных систем качества
канд. техн. наук, доцент

М.С. Смирнова

М.А. Добросельский

Государственная корпорация
«РОСТЕХ»
Открытое акционерное общество
**«Научно-исследовательский и
опытно-экспериментальный
центр интеллектуальных технологий»**
«ПЕТРОКОМЕТА»

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, лит.А
Тел/факс: (812) 600-15-12
mail@petrocometa.ru

УТВЕРЖДАЮ

Временный генеральный директор,
Доктор технических наук, профессор

М.Ю. Охтилев

«10» апрель 2017 года



АКТ

реализации результатов диссертационной работы
Ястребова Виктора Анатольевича

Комиссия в составе:

председателя комиссии:

первого заместителя генерального директора, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника В. Н. Коромысличенко

членов комиссии:

директора департамента испытаний и эксплуатации,
кандидата военных наук В.Ю. Гамова,
инженера-программиста, А.Э. Зянчурина

составила настоящий акт в том, результаты кандидатской диссертации Ястребова Виктора Анатольевича, посвящённой *методам управления качеством разработки программных комплексов обработки и передачи данных*, а именно:

1. Комплексная модель разработки программных комплексов (ПК) и реализованный на ее основе алгоритм управления качеством процесса обработки и передачи визуальных данных;
2. Формализованная процедура оценки и обеспечения качества процессов разработки ПК, учитывающая влияние рисков возникновения ошибок при реализации проектов, –

были реализованы при выполнении эскизного проекта и разработке ПО единого виртуального электронного паспорта (ЕВЭП) РН «Союз-2» по договору с АО

«РКЦ Прогресс» в составе СЧ ОКР «Разработка единого виртуального электронного паспорта космической ракеты-носителя «Союз-2».

Полученные результаты Ястребова Виктора Анатольевича, позволили обеспечить сокращение количества допущенных на этапе разработки ПК ошибок на 10-12% и снижения затрат временных ресурсов, связанных с разработкой, тестированием и вводом в эксплуатацию ПК, в среднем на 15-20%.

Председатель комиссии:

Первый заместитель генерального директора,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник



В.Н. Коромышличенко

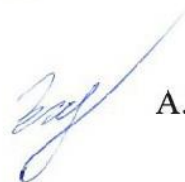
Члены комиссии:

Директор департамента испытаний и эксплуатации,
кандидат военных наук



В.Ю. Гамов

Инженер-программист



А.Э. Зянчурин



ООО Научно – производственная компания
«Финист-софт»

420039, Россия, РТ, Казань, ул. Мухометшарова, д.31 Тел. (843) 564-52-36 ИНН 1658105371 р/с 40702810029140000925 в Филиале "Нижегородский" ОАО "АЛЬФА-БАНК" г. Нижний Новгород БИК 042202824 к/сч 30103810200000000824 в ВОЛГО-ВЯТСКОМ БУ
БАНКА РОССИИ www.finist-soft.ru



Технический директор НПК «Финист-софт»

«18» апреля 2017 г. В. Б. Фролов

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

**результатов диссертационной работы ЯСТРЕБОВА Виктора Анатольевича
«Метод управления качеством разработки программных комплексов
обработки и передачи данных»**

Комиссия в составе председателя – технического директора Научно-производственной компании «Финист-софт» Фролова В.Б., членов комиссии: директора по развитию к. т. н. Чепухина В.Г., начальника отдела к.ф.м.н Яرخамова Ш.Д. составила настоящий акт о том, что в НПК «Финист-софт» в рамках выполнения проекта «Разработка автоматизированной системы подготовки финансовой отчетности ЦБ - «Finist-Report» использованы следующие результаты научной работы аспиранта кафедры инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» Ястребова Виктора Анатольевича:

1. Методика управления качеством объектов данных с учетом потребностей пользователей программной продукции;
2. Формализованная процедура оценки и обеспечения качества процессов разработки программной продукции, включающая в себя стандарт предприятия: "Комплексная оценка качества разработки программных комплексов".

Внедрение указанных результатов обеспечило сокращение временных затрат на разработку программных комплексов на 7-9%, а также снижение времени на локализацию ошибок в разрабатываемом программном комплексе в среднем в 1.3 – 1.5 раза.

«18» апреля 2017 г. Директор по развитию  В.Г. Чепухин

«18» апреля 2017 г. Начальник отдела  Ш.Д. Яرخамов