

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

На правах рукописи



Шелудяк Татьяна Борисовна

**МЕТОДИКА МНОГОУРОВНЕВОГО МОНИТОРИНГА
ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ТРАКТА В НАЗЕМНОМ
КОМПЛЕКСЕ УПРАВЛЕНИЯ РОССИЙСКИМ СЕГМЕНТОМ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

Специальность - 05.13.01

Системный анализ, управление и обработка информации
(авиационная и ракетно-космическая техника)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Почукаев Владимир Николаевич

Москва – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Анализ структурных элементов системы приема цифровой телевизионной информацией в НКУ РС МКС	13
1.1. Анализ структурных элементов телевизионной системы, используемой для управления космическими аппаратами.....	13
1.2. Анализ системы оценки качества телевизионного сигнала в НКУ РС МКС.	18
1.3 Анализ факторов, влияющих на качество телевизионной информации	19
1.4 Анализ методы оценки качества в цифровых телевизионных системах	22
1.5 Выводы по первой главе.....	25
2. Модель цифровой ТВ системы в НКУ РС МКС.....	26
2.1 Моделирование системы формирования и сжатия ЦТВИ в НКУ РС МКС.....	31
2.3 Моделирование системы распространения ЦТВИ в НКУ РС МКС.....	39
2.3 Интеграция системы формирования, сжатия и распространения в виртуальном пространстве	48
2.4 Выводы по второй главе	49
3. Модель проектируемой системы многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС	51
3.1 Реализация системы оценки качества ЦТВИ на уровне форматирования.....	54
3.2 Реализация модели системы мониторинга ТВ систем на уровне сжатия и распространения.....	59
3.3 Конфигурирование сенсоров системы мониторинга ТВ систем на уровне компрессии и распространения	63
3.4 Конфигурирование системы оповещения	66
3.5 Моделирование аварийных нештатных ситуаций.....	69
3.6 Выводы по третьей главе.....	74
4. Методика многоуровневого мониторинга цифрового ТВ тракта в НКУ РС МКС	76

4.1 Концепция системы многоуровневого мониторинга цифрового ТВ тракта в НКУ РС МКС.....	76
4.2 Методика анализа гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей в НКУ РС МКС.....	77
4.3 Методика мониторинга транспортного потока цифровых ТВ систем, ориентированных на обеспечение операций по управлению полетами	101
4.4 Методика анализа и мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС.....	111
4.5 Выводы по четвертой главе	134
Заключение	138
Список принятых сокращений.....	140
Библиографический список.....	143

Введение

Актуальность темы исследования. Создание и развитие информационных средств является одним из направлений повышения эффективности управления космическими аппаратами (КА). Основными видами функциональной информации, используемой при управлении полетами КА, являются: баллистическая, телеметрическая, телевизионная (ТВ), командно-программная и голосовая информация, а также обмен данными.

Телевизионная информация (ТВИ) используется для наблюдения за действиями космонавтов во время полета, передачи информации о сближении и стыковке космического корабля с другим кораблем или орбитальной станцией, выхода в открытый космос, стартов и посадок КА, демонстрации сложных и продолжительных научных и прикладных орбитальных экспериментов и исследований в условиях невесомости. Информация, получаемая специалистами главной оперативной группы управления в ЦУПе во время ТВ сеансов, имеет большое значение при принятии повседневных управленческих решений, во время проведения динамических операций, и особенно, при возникновении нештатных ситуаций.

Система ТВ обеспечения космических полетов создавалась в 60-х годах прошлого века. Эта система была основана на использовании аналоговых видеосигналов, передаваемых по магистральным спутниковым и наземным линиям связи. ТВ-сигнала с борта российского сегмента международной космической станции (РС МКС), пилотируемых и транспортных кораблей принимался в сеансах связи наземными радиотехническими комплексами «Орион» по мере пролёта КА над зонами прямой радиовидимости наземных измерительных пунктов (НИП). На этапе орбитального полёта принятые и обработанные на НИП ТВ-сигналы через систему спутниковой связи «Связник» (использующую спутники-ретрансляторы «Молния»), транслировались на НИП Щелково, где происходила оценка, полученных ТВ сигналов и коммутация

выбранного ТВ сигнала в ЦУП. Оператор в ЦУПе получал один поток ТВИ и передавал его потребителям.

Основными недостатками при использовании аналоговых ТВ систем является высокий уровень шумов и помех, высокий уровень избыточности сигнала, низкий уровень безопасности сигнала, отсутствие возможности восстановления исходной информации.

В связи с прекращением выделения ресурса спутников-ретрансляторов «Молния», моральным и физическим устареванием наземных каналов связи, а также очень высокой стоимостью аренды аналоговых каналов связи, руководством ГК «Роскосмос» было принято решение о переходе на использование цифровых технологий для организации ТВ систем в наземном комплексе управления российского сегмента международной космической станции (НКУ РС МКС).

В настоящий момент идет поэтапный процесс модернизации системы приема ТВИ в НКУ РС МКС. В 2008 году осуществлен переход на использование цифровых каналов связи для передачи ТВ-сигнала от НИПов до ЦУП. Отличительной особенностью данной схемы является, частичное использование цифровых технологий при организации каналов связи. По новой схеме в ЦУП приходит информация одновременно от нескольких НИПов, и оператор должен выбрать поток ЦТВИ лучшего качества и передать его специалистам ГОГУ.

В 2016 году был осуществлен переход на использование ЦТВ системы на борту модернизированного транспортно-пилотируемого корабля (ТПК) "Союз МС", транспортного грузового корабля (ТГК) "Прогресс МС". Передающее устройство с модернизированного ТПК «Союз-МС» и ТГК «Прогресс-МС» осуществляет преобразование входного аналогового видеосигнала черно-белого телевидения и цветного системы PAL и выдачу его в виде цифрового видеосигнала.

В дальнейшем планируется переход на использование малокадрового ЦТВ, которое будет поступать с борта РС МКС, а также пилотируемых и транспортных кораблей в едином цифровом потоке (ЕЦП).

Во время проведения испытаний технических средств цифровой ТВ системы в НКУ РС МКС возник ряд проблем:

- при передаче всех видов функциональной информации по цифровым каналам связи происходили значительные потери, достигающие 80 %.

- ТВ информация приходила с очень низким уровнем качества, были зафиксированы длительные замирания, рассыпания и размытие ТВИ.

- голосовая информация была не разборчива.

Методы, которые были хорошо отработаны в аналоговом телевидении, не позволяли разрешить эти проблемы в связи с другой структурой сигнала.

Принципиально существовало несколько путей решения возникших вопросов. Первый – это метод последовательного перебора и замены всех элементов сети. Но этот метод мало эффективен и требует очень высоких затрат.

Другой путь это создание модели данной системы. Существует несколько способов реализации необходимой модели - это физическая модель и имитационная модель. Создание физической модели требовало очень серьезных финансовых, организационных и временных затрат и не подходило для решения возникших проблем.

В связи с этим появилась необходимость в создании такой ТВ модели, которая позволяла провести анализ работы всех отдельных элементов системы и работы системы в целом, и с помощью проведенного анализа установить все возможные причины, которые могут оказывать влияние на качество информации в ТВ тракте.

На базе созданной модели разработаны методики многоуровневого анализа качества и оперативного мониторинга ТВ тракта, использование которых позволило определить неисправные элементы и внедрить ЦТВ систему в НКУ РС МКС.

В этой связи разработка методики многоуровневого мониторинга цифрового ТВ тракта, основанная на данных полученных во время моделирования процессов происходящих в ТВ системе в НКУ РС МКС имеет важное техническое значение и является актуальной.

Степень разработанности темы исследования. Теория формирования и передачи цифрового ТВ рассмотрена в работах Джакони В.Е. [6], Кривошеева М.И. [9-11], Котельникова В.А. [13], Гласмана К.Ф. [3], Пескина А.Е. [16], Новаковского С.В. [13], Ватолина Д.С. [1], Смирнова А.В. [20]. Теория измерений ЦТВИ рассмотрена в работах Дворковича В.П. [6], Олифера В.Г. [15], Wang Z. [77-81], Bovik A. C. [78-80], Sheikh H. R. [80] и Simoncelli E. P. [80-81].

Цель работы. Целью работы является обеспечение гарантии качества и оперативности предоставления ЦТВИ при управлении полетами КА, путем разработки системы многоуровневого мониторинга качества цифрового ТВ тракта.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ развития системы приема ТВИ, используемой для управления КА, структурных элементов системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС, современных методов оценки и мониторинга качества ЦТВИ.

2. Разработать специализированную интегральную среду моделирования, предназначенную для реализации модели системы приема и мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС.

3. Построить модель ТВ системы в НКУ РС МКС.

4. Построить модель проектируемой системы мониторинга качества ЦТВИ.

5. Разработать методики тестирования гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей, транспортного потока (ТП) и анализа качества цифровой ТВИ при вводе новых ТВ систем в эксплуатацию в НКУ РС МКС.

6. Разработать методики мониторинга ЦТВИ на уровне форматирования, компрессии и распространения.

7. Экспериментально проверить полученные результаты.

Объект исследования. ТВ система в НКУ РС МКС.

Предмет исследования. Система многоуровневого мониторинга цифрового ТВ тракта в НКУ РС МКС.

Научная новизна:

1. Реализована модель цифровой ТВ системы, учитывающая все особенности мультимедийных информационных систем, обеспечивающих управление КА.

2. Реализована модель проектируемой системы многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС, позволяющая проводить различные эксперименты и отрабатывать новые методики тестирования и мониторинга.

3. Разработана система критериев и методик их количественной оценки для тестирования и мониторинга гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей, ориентированных на обеспечение операций по управлению полетами КА.

4. Разработана методика мониторинга транспортного потока цифровых ТВ систем, позволяющая оценить качество работы системы кодирования ТВ-тракта в НКУ РС МКС.

5. Разработана методика интегральной оценки качества ЦТВИ НКУ РС МКС, позволяющая объективно оценить возможность использования ТВ тракта при обеспечении операций по управлению полетами КА.

6. Разработана методика оперативного мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС, учитывающая специфику работы ТВ систем в контуре оперативного управления космическими полетами.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Созданная виртуальная модель цифровой ТВ системы в НКУ РС МКС, являющаяся адекватным аналогом реальной системы. Использование данной модели позволяет проводить тестирование работы системы приема ТВ информации при штатной работе и моделировать различные нештатные ситуации, характерные для контура оперативного управления КА. Доступность использования разработанной модели позволяет применять ее при доработке системы информационного обмена широкополосной в НКУ РС МКС на базе магистральной цифровой сети связи с использованием волоконно-оптических

линий связи и системы спутниковой связи «Приморка», а также при обучении персонала новым решениям и технологиям.

2. Разработанная модель системы многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ, позволила создать и протестировать систему оценки качества работы всех систем составляющих ТВ тракт в НКУ РС МКС.

2. Применение, предложенных методик тестирования гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей, мониторинга ТП и анализа качества ЦТВИ позволяет проводить оценку качества всего ТВ тракта во время разработки и внедрения ЦТВ систем в НКУ РС МКС, а также при поиске неисправных элементов.

3. Применение, предложенных методик оперативного многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС позволяет осуществлять оперативный контроль и диагностику ЦТВ тракта на всех уровнях, быстро локализовать источник ухудшения качества, оптимизировать время оценки и выбора ТВ потока при одновременной работе с несколькими НИПами, а так же уменьшить вероятность ошибки оператора.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы имитационного компьютерного моделирования, системного анализа, теории алгоритмов и принятия решений, теория передачи цифровой информации, теории ЦТВ. Экспериментальная часть исследования базировалась на обработке и анализе результатов объективных измерений и субъективных экспертиз ЦТВИ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель цифровой ТВ системы, предназначенная для имитирования функционирования основных элементов, входящих в состав комплекса программно-технических средств ТВ-каналов связи в НКУ РС МКС, а так же тестирования штатных процедур и моделирования нештатных ситуаций на базе модели.

2. Модель проектируемой системы многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС, предназначенная для реализации системы мониторинга

сетевой и серверной инфраструктуры и объективной оценки качества ТВ информации.

3. Методика многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС, предназначенная для анализа работы ТВ тракта на трех функциональных уровнях при его введении в эксплуатацию и мониторинга работы всех элементов системы при проведении оперативных работ.

Степень достоверности полученных результатов обеспечивается применением теории цифрового телевидения и обработки сигнала, а так же теории моделирования. Полученные теоретические результаты, подтверждены проведенными экспериментами.

Внедрение результатов работы. Исследования по теме диссертации связаны с решением практических задач, возникающих в связи с внедрением новых цифровых технологий при организации каналов связи, предназначенных для передачи широкополосной информации в НКУ РС МКС. Полученные результаты использованы при выполнении следующих работ:

1. Проведение комплексных испытаний системы обмена широкополосной информацией в НКУ РС МКС на базе магистральной цифровой сети связи с использованием волоконно-оптических линий связи и системы спутниковой связи «Приморка», в части проведения тестирования ТВ тракта между ЦУП и НИП Байконур, НИП Барнаул, НИП Улан – Удэ, НИП Щёлково 7, НИП Уссурийск при вводе данной системы в эксплуатацию.

2. Подготовка и участие ЦУП в проведении 500-суточного эксперимента, моделирующего полет к Марсу, в части реализации и тестирования системы обмена ТВИ между ЦУП и ИМБП для участников 105-суточного и 500-суточного эксперимента.

3. Создание опытного образца системы обмена ТВ-информацией по цифровым каналам связи малой информативности, в части реализации и тестирования системы видео-конференц-связи.

4. Создание системы передачи видеоинформации с использованием сетевых технологий, в части разработки и тестирования системы передачи ЦТВИ, а также

системы улучшения качества видеосигнала в информационных трактах ЛВС ЦУП.

5. Создание макетного образца цифрового информационного канала связи между ЦУП и комплексным моделирующим стендом (КМС) в РКК «Энергия» для передачи ТВИ, в части тестирования цифрового канала связи и телевизионной системы.

6. Организации тестирования каналов связи между ЦУП и АО «РКС», ЦККП, МИФИ, НИИ ТП, Объект 413, Красноярск-26.

Результаты работы используются в ФГУП ЦНИИмаш ЦУП, а так же в ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева», что подтверждается соответствующими Актами о внедрении (Приложение 2).

Апробация результатов работы.

По теме диссертации опубликовано пять работ [24-28], из них три в рецензируемых изданиях [24-26] определённых Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях:

1. 58, 59 студенческая научно-техническая конференция МТУСИ (Москва, 2003,2004);

2. Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 100-летию С.П. Королева, на тему: «Космический подвиг продолжается» (Королев, 2007);

3. Научно-технический семинар молодых ученых и специалистов предприятий космической промышленности, ИПК «Машприбор» (Королев, 2007, 2008);

4. XVIII научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева (Королев, 2008);

5. Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава МТУСИ (Москва, 2008);

6. Научно-техническая конференция в МГУЛе (Мытищи, 2012);

7. IV Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов Центра управления полетами (Королев, 2014). Материалы, представленные в данной работе, были отмечены дипломом второй степени.

Личный вклад. Все результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. В работах, выполненных в соавторстве, вклад соискателя состоит в формулировке задач исследования, разработке специализированной инструментальной среды для создания модели систем приёма и мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС, методик и алгоритмов тестирования и мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС при вводе ТВ систем в эксплуатацию и в период опытной эксплуатации, обработке, анализе и обобщении полученных результатов и формулировке выводов.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа содержит введение, 4 главы, заключение, список принятых сокращений, библиографический список. Диссертация изложена на 148 страницах, в том числе 95 рисунков и 12 таблиц, библиография включает 81 наименований.

1. Анализ структурных элементов системы приема цифровой телевизионной информацией в НКУ РС МКС

1.1. Анализ структурных элементов телевизионной системы, используемой для управления космическими аппаратами

В настоящее время ТВ-сигнал передается с борта РС МКС, ТПК «Союз», ТГК «Прогресс» и принимается в сеансах связи с наземными комплексами «Орион». Комплекс «Орион» входит в состав радиосредств НИП. НИПы расположены на трассе движения КА над территорией России и Казахстана (район космодрома «Байконур»).

Во время предстартовой подготовки, старта и на этапе активного участка вывода ТПК «Союз» на космодроме «Байконур» комплекс «Орион» принимает ТВ-сигнал, передаваемый с борта ТПК «Союз». Во время посадки ТВ-сигнал с места приземления передается в ЦУП через систему спутниковой связи «Инмарсат ВGAN».

В данное время в НКУ РС МКС используется два вида сигналов, содержащих ТВИ. Это информация специального ТВ, представленная в виде сюжетов цветного ТВ, передаваемых видеокамерами из внутренних помещений КА, и изображений черно-белого ТВ, в виде дисплейной телеметрии. С борта КА также принимается черно-белое ТВ, содержащее комбинированное изображение, формируемое видеокамерой внешнего обзора и совмещенное с телеметрией. Последнее используется при стыковках КА «Союз» и «Прогресс» с МКС.

Комплекс программно-технических средств ТВ каналов связи в НКУ РС МКС обеспечивает: формирование ТВ сигнала с внутренних и внешних телекамер РС МКС, ТПК «Союз» и ТГК «Прогресс», передачу ТВ сигнала по радиоканалу на наземные комплексы «Орион», цифровое кодирование аналогового ТВ сигнала с последующим сжатием и преобразованием данного сигнала в цифровой транспортный поток (ТП), передачу и прием информационного потока по

цифровым каналам связи, декодирование цифрового ТВ сигнала в аналоговый сигнал, коррекцию, оценку качества, коммутацию и распределение ТВИ.

Схема обмена ЦТВИ в НКУ РС МКС показана на рис. 1.1

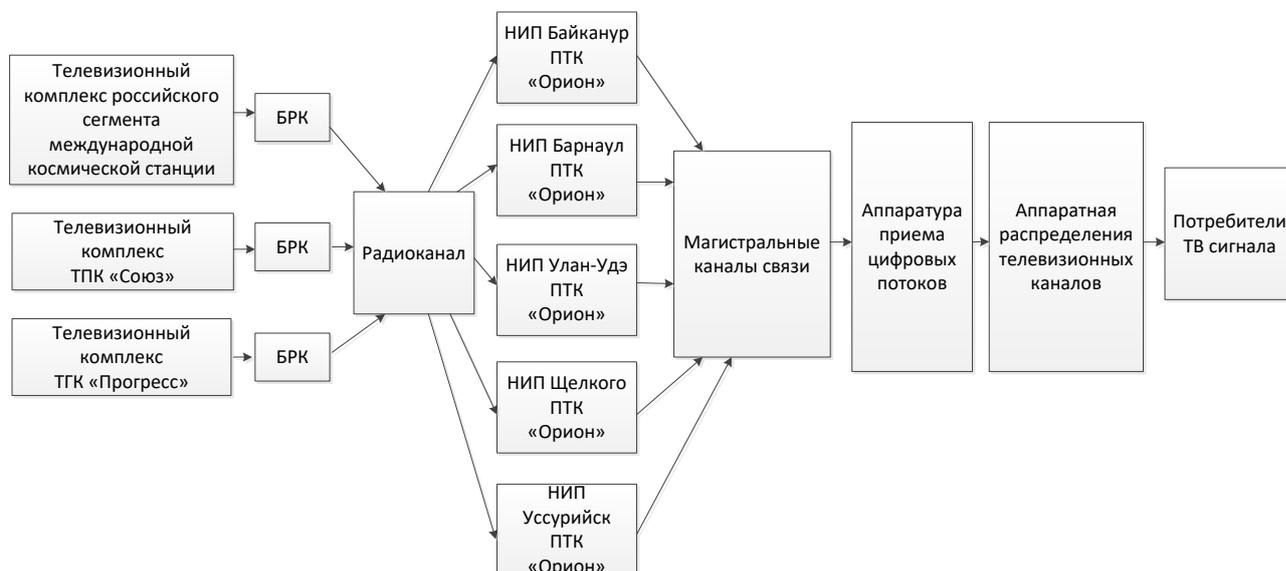


Рисунок 1.1. Схема обмена ТВИ в НКУ РС МКС

На данный момент для приема ТВИ с борта используются следующие НИПы: НИП Байконур, НИП Барнаул, НИП Улан – Удэ, НИП Щёлково, НИП Уссурийск. Для организации наземных каналов связи от НИП, используются различные технологии.

На рис. 1.2 изображена схема приема ТВИ с НИП Байконур и НИП Барнаул.

Как показано на схеме, ТВ аналоговый сигнал передается с борта РС МКС на программно-технический комплекс (ПТК) «Орион», далее на видеокодер, где оцифровывается и подвергается сжатию, затем передается в центральный узел связи через систему спутниковой связи «Приморка». Далее ТП передается через волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) в ЦУП на видеокодер.

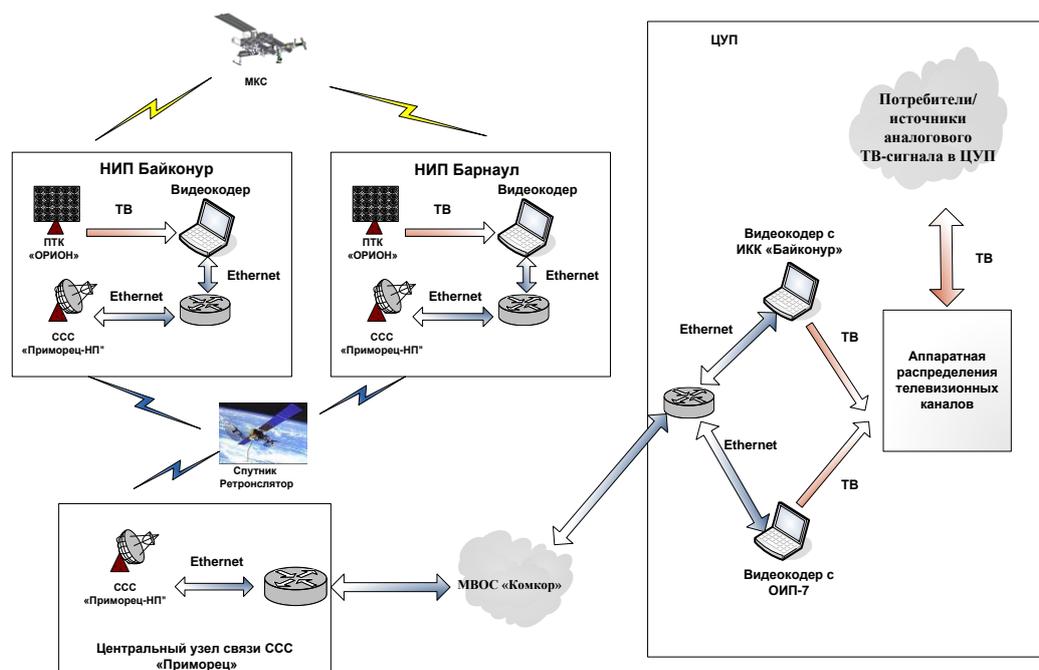


Рисунок 1.2. Схема приема ТВИ с НИП Байконур и НИП Барнаул

Кодер и декодер позволяют оперативно изменять параметры передачи видеoinформации в зависимости от её характера. При фиксированной пропускной способности канала передачи информации можно изменять четкость изображения в обмен на его динамические характеристики, меняя частоту кадров от 25 до 5 кадров в секунду.

На рис. 1.3 изображена схема приема ТВИ с НИП Улан-Удэ и НИП Уссурийск. Как показано на схеме, ТВ аналоговый сигнал передается с борта МКС на ПТК «Орион» далее на аппаратуру цифровой обработки и компрессии, где аналоговый сигнал оцифровывается и сжимается. Далее ТП структуры MPEG-2 в потоке E1 поступает на преобразователь интерфейсов. Преобразователи интерфейсов предназначены для преобразования цифрового транспортного потока (ТП) в цифровые потоки от 2 до 8 Мбит/секунду (1E1 - 4E1) в зависимости от скоростей элементарных потоков с целью передачи цифровых потоков E1 по магистральной цифровой системе связи.

На рисунке 1.5 показана проектируемая схема приема ТВИ в НКУ РС МКС. По проекту ТВИ будет поступать в ЦУП в едином цифровом потоке (ЕЦП). На борту цифровые сигналы каналов файлового обмена, телефонии, ТМИ и малокадрового телевидения будут объединяться и передаваться на аппаратуры каналообразования, преобразующую непрерывные потоки в пакеты ЕЦП.

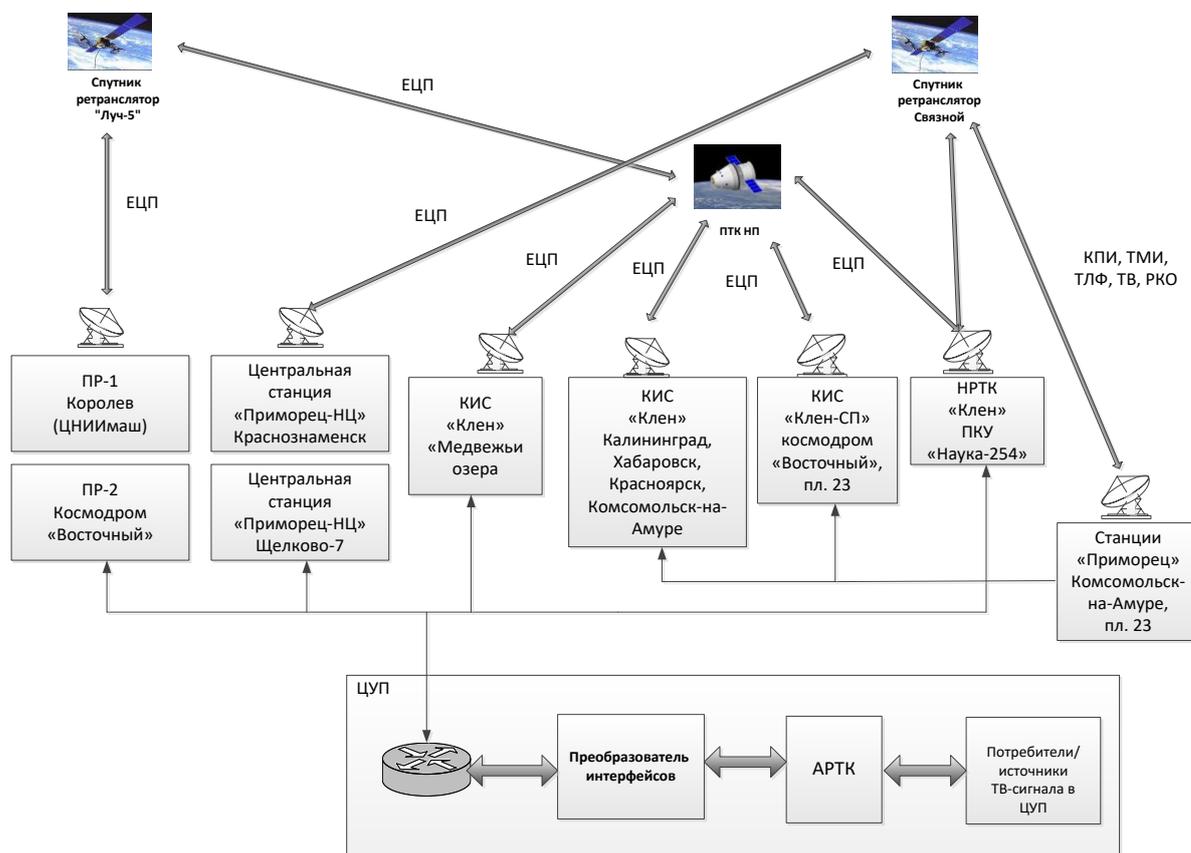


Рисунок 1.5. Проектируемая схема приема ТВИ

На Земле на наземных станциях «Клен» и «Клен-Р», находящихся в зоне радиовидимости летающего объекта, высокочастотный сигнал будет приниматься аппаратурой демодуляции высокочастотного сигнала. Далее демодулированные пакеты ЕЦП будут преобразованы в пакеты по протоколу TCP-IP для передачи по сети Ethernet в ЦУП

1.2. Анализ системы оценки качества телевизионного сигнала в НКУ РС МКС.

На рис. 1.6 показана схема существующей структуры системы оценки качества ТВ сигнала в контуре управления полетами. В состав аппаратуры оценки качества входят устройства, которые обеспечивают контроль входной информации на уровне составляющих потоков E1, совокупных ТП, контроль характеристик каналов передачи видео и аудио информации [9].

Для измерения характеристик и оценки качества ТВ сигнала в НКУ РС МКС используются следующие устройства: Генератор ЦТВ ИС Г-420, анализатор ТВ мониторинговый АТМ-2, анализатор ТП АТП-1, анализатор КИО-4Е1.

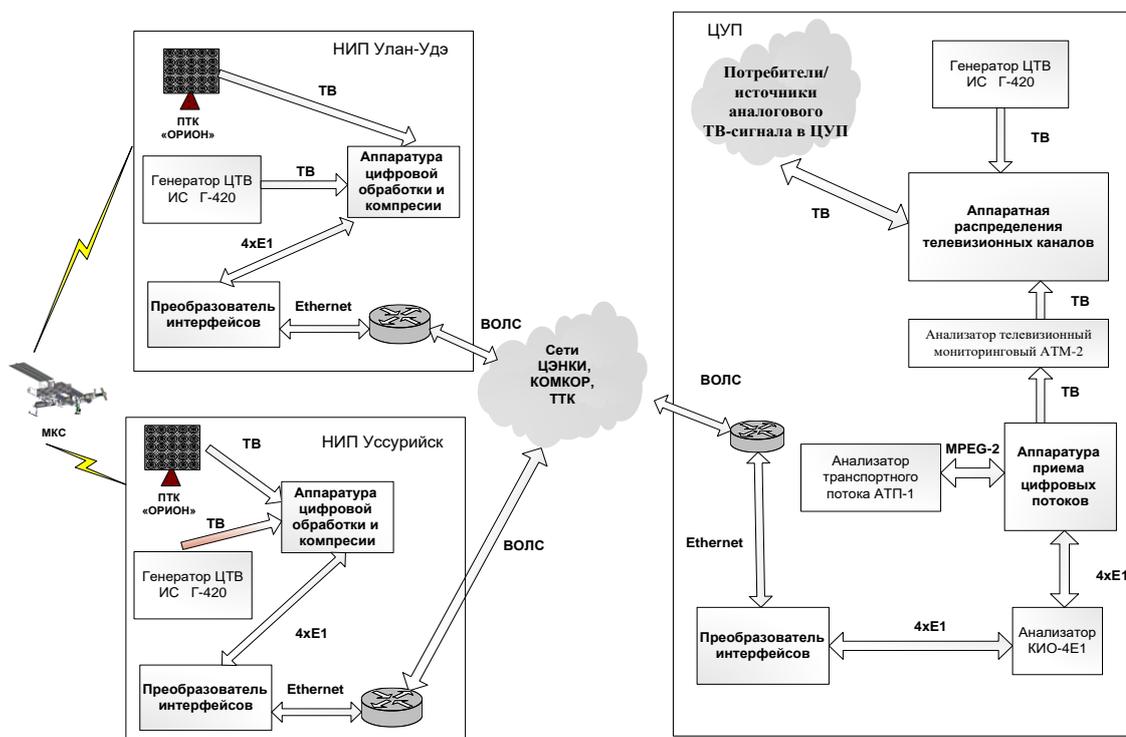


Рисунок 1.6. Схема существующей структуры системы оценки качества ТВ сигнала в НКУ РС МКС

Генератор ЦТВ испытательных сигналов Г-420 используется для контроля параметров ЦТВ системы в соответствии со стандартом MPEG-2.

Анализатор КИО-4Е1 используется для контроля наличия ошибок в структуре цифровых потоков E1. Анализатор КИО-4Е1 обеспечивает генерацию тестовых потоков E1, контроль наличия ошибок с точностью до подъсверхцикла

в поступающих от каналов передачи потоках в ходе сеанса связи, анализ структуры потоков, контроль наличия ошибок с точностью до байта при предсеансовых проверках.

Анализатор ТВ мониторинговый АТМ-2 используется для контроля параметров качества ТВ трактов по специальным испытательным сигналам и таблицам.

Анализатор ЦТВ транспортного потока АТП-1 используется для измерения скорости ЦТВ ТП, измерения фазового дрожания (джиттера) программных тактов, мониторинга сформированного ТП в реальном масштабе времени, просмотра системной информации и состава ТП.

Применение существующих средств контроля и измерения имеет ряд недостатков:

- Представленная система оценки качества ТВ-сигнала позволяет производить анализ ТВ тракта только по двум из пяти направлений;
- Данная система не позволяет обнаружить сетевые элементы, на которых происходят сбои. Отсутствует система тестирования и мониторинга каналов связи;
- Существующая система не предусматривает возможности оценки качества ЦТВИ в режиме реального времени.

В связи с вышеперечисленными недостатками существующие средства контроля и измерения не подходит для объективной и полной оценки качества цифрового ТВ системы. Поэтому необходима разработка новой системы оперативного многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС.

1.3 Анализ факторов, влияющих на качество телевизионной информации

ЦТВ сигнал имеет структуру, отличающуюся от аналогового сигнала. Важной является оценка факторов, которые могут приводить к искажениям изображения на этапе его формирования, передачи и воспроизведения [8,12,16].

Среди внешних процессов оказывающих влияние на работу ТВ системы рассмотрены следующие процессы:

- физический обрыв линии связи;
- погодные условия, оказывающие влияние на работу каналов связи;
- световое освещение, резкие переходы из света в тень.

К внутренним процессам, оказывающим влияние на работу ТВ системы относятся:

- сбои в работе отдельных элементов системы;
- наличие ошибок на отдельных элементах;
- не правильные настройки элементов системы (например, не оптимально подобранные характеристики пропускной способности каналов связи и системы кодирования).

Искажения можно разделить на три группы, в зависимости от причины их возникновения:

1. Искажения, возникающие в аналоговой части ТВ тракта (линейные и нелинейные искажения). Данный вид искажений характерен для аналоговых систем и практически не встречается в цифровой ТВ системе в НКУ РС МКС.

2. Искажения, вызванные системой ТВ сжатия. В процессе преобразования ТВ сигнала из аналоговой формы в цифровую происходит его дискретизация и квантование. Цифровой сигнал может передаваться по каналам связи в сжатой и несжатой форме. Но использование несжатых ТВ требует от каналов связи очень большой пропускной способности, что не выгодно с финансовой точки зрения.

В связи с этим для уменьшения избыточности ЦТВИ используют различные системы сжатия. Техника сжатия видеоизображений основывается на сокращении пространственной, временной и психофизиологической избыточности. Различают два вида сжатия: без потери информации и с потерей. При первом способе степень сжатия не велика, ТВ сигнал не подвергнется искажениям, связанным с компрессией. При этом способе сжатия могут применяться методы, используемые для тестирования и оценки качества аналогового ТВ сигнала.

При втором способе, используются высокие коэффициенты сжатия, что приводит к потере данных и появлению различных артефактов в ЦТВИ [13,21].



Рисунок 1.7. Блокинг-эффект

Чаще всего при сильном сжатии появляется блокинг-эффект (рис. 1.7) или эффект-мозаики. Данные искажения возникают, вследствие применяемого для сжатия ЦТВИ внутрикадрового кодирования, то есть разбиения изображения на отдельные блоки и дальнейшего их независимого кодирования. И выражаются данные искажения в виде разбиения ТВ изображения на квадратные блоки.



Рисунок 1.8. Размытие изображения

Так же достаточно часто встречается размытие изображения (рис. 1.8). Возникает данный эффект при использовании больших коэффициентов сжатия. Проявляются они в виде размытия или полного пропадания отдельных деталей изображения.

К искажениям, возникающим при внутрикадровом кодировании, так же относятся окантовка на границах (характерные линии, возникающие на резких переходах яркости изображения) и искажения типа ступеньки (возникают из-за неправильного восстановления или передачи краев изображений внутри блоков).

К искажениям, возникающим при межкадровом кодировании, чаще всего встречается появление зернистого шума в статичной области и случайные отклонения яркости или цветности в блоке на границе между движущимся объектами и фоном. Так же встречаются ложные границы и эффект "привидения" (выражается в образовании следов, которые могут сохраняться в течение некоторого времени). Искажения в цветности обусловлены тем, что при предсказании вектора движения часто используется только сигнал яркости.

3. Искажения, вызванные ошибками в каналах связи (задержка, замирание, рассыпание ТВИ). Чаще всего встречается именно данный вид искажений, так как работа каналов связи зависит от многих факторов, включающих в себя погодные условия, нестабильную работу сетевых устройств, физические обрывы каналов.

1.4 Анализ методы оценки качества в цифровых телевизионных системах

Для оценки качества ЦТВИ могут использоваться два метода: субъективные и объективные методы оценки качества [45].

Субъективная оценка качества ТВИ предусматривает сравнение группой экспертов двух ТВ изображений - эталонного и полученного по цифровому ТВ тракту.

При проведении методов субъективной оценки необходимо соблюсти требования к освещенности помещения, в котором будет проводиться тестирование, а так же к составу экспертной комиссии. Для проведения субъективных экспертиз необходимо привлекать не менее 15 человек. В составе комиссии не должно быть экспертов в области цифрового ТВ и оценки качества.

Перед началом испытаний все зрители должны быть проверены на нормальную резкость зрения и на цветовосприятие [46].

Структура тестовой сессии приведена на рисунке 1.9. Для ознакомления с испытаниями зрителям должен быть продемонстрирован ряд тренировочных ВП. Продолжительность тестовой сессии не должна превышать 30 минут. При оценке качества необходимо применять произвольный порядок следования тестового материала.

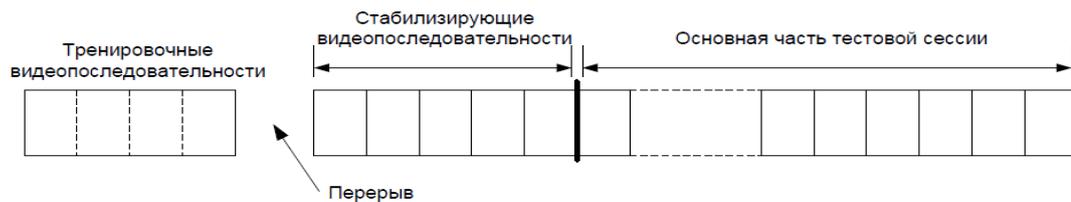


Рисунок 1.9. Структура тестовой сессии

В таблице 1.1 представлены сводные характеристики субъективных методов оценки качества ЦТВИ [45-46,64].

Таблица 1.1 Характеристики субъективных методов оценки

Название метода	Описание проведения экспертизы
MOS (Абсолютно субъективное понятие) ITU-T P.800	После просмотра видео, полученного по тестируемому тракту, группа экспертов выставляет оценки по пятибалльной шкале. Далее вычисляется среднее арифметическое от всех оценок.
DMOS (Разница между оценками тестируемого и эталонного видео)	Экспертной группой производится оценка по пятибалльной шкале эталонного изображения и полученного по тестируемому ТВ тракту. Далее вычисляется среднее арифметическое от всех оценок и разница между этими оценками.
PQR (Оценка качества изображения) ITU-R BT.500-11	Группа экспертов сравнивает эталонную и тестируемую последовательности несколько раз при различных значениях ухудшающего воздействия.

SAMVIQ (Субъективный метод оценки качества видео)	Группа экспертов по сто бальной шкале оценивает несколько вариантов ВП, закодированных разными кодеками. Затем оценки усредняются.
SSCQE (Непрерывная оценка качества)	Группе экспертов демонстрируются несколько видеопоследовательностей. Количество искажений в них может быть различным. Оценки выставляются в пределах от 0 до 1.
DSIS (Попарная оценка ухудшения качества видео)	Экспертной группой производится оценка по пятибалльной шкале эталонного изображения и полученного по тестируемому ТВ тракту. Длительность теста – 8 с.
DSCQS (Непрерывная оценка качества по результатам 2 просмотров)	Качество изображений оценивается так же, как в методике DSIS. Отличительной особенностью является то, что видеопоследовательность воспроизводится в псевдослучайном порядке, а затем повторяется.
QoE (Качество восприятия услуг) ITU-T SG-12	Показатели включают в себя факторы передачи информации (сетевые характеристики), факторы функционирования приложений (параметры кодека) и факторы услуг (уровень предоставления услуги).

Субъективная оценка зависит от состава экспертных групп, условий проведения экспериментов, а также от параметров, подлежащих оценке. Применение субъективных методов оценки качества в ЦТВ системах возможно только в тех случаях, когда нет необходимости в получении результатов в режиме реального времени.

Объективные методы основаны на сравнении эталонных ВП с последовательностями, прошедшими по ТВ тракту. Эти методы позволяют с

помощью математических метрик оценить различия в уровнях качества эталонного и оцениваемого изображения [6].

1.5 Выводы по первой главе

В первой части первой главы рассмотрена схема приема ТВИ в НКУ РС МКС. Проведен анализ развития системы приема ТВИ, используемой для управления КА. Выполнен анализ структурных элементов системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС.

Во второй части первой главы проанализированы средства оценки качества ТВ сигнала в НКУ РС МКС. Выполнен анализ элементов системы оценки качества ТВ тракта, рассмотрены минусы, используемой системы.

В третьей части первой главы проведён анализ факторов, влияющих на качество ТВИ. Проведен комплексный анализ современных методов оценки и мониторинга качества ЦТВИ, структуры, характеристик и параметров испытательных изображений и сюжетов при проведении оценок качества ТВ изображений.

В четвертой части первой главы проанализированы методы оценки качества в цифровых ТВ системах. Возможны два подхода в оценке качества изображений: объективный, т.е. количественная оценка с помощью математических методов и субъективный - экспертный подход. Проведения субъективных экспертиз, определяет требования к организации лабораторного помещения, выбор тестового материала, подбора экспертов, порядок проведения измерений и обработку полученных результатов. Однако применение экспертного метода требует большого количества людей и времени, а также достаточно сложную процедуру оценки качества ТВИ в реальном режиме времени. Эффективным решением уменьшения трудоемкости и времени получения оценки качества является применение объективных метрик измерение степени «схожести» оцениваемого и эталонного изображения.

2. Модель цифровой ТВ системы в НКУ РС МКС

Для изучения свойств ТВ системы в НКУ РС МКС необходимо было создать модель данной системы, отображающую основные ее свойства, необходимые для построения системы оценки качества элементов ТВ системы и отработки программы мониторинга. Комплекс программно-технических средств ТВ каналов связи в НКУ РС МКС обеспечивает: формирование ТВ-сигнала с внутренних и внешних телекамер международной космической станции (МКС), ТПК «Союз» и ТГК «Прогресс», передачу ТВ-сигнала по радиоканалу на наземные комплексы «Орион», цифровое кодирование ТВ-сигнала с последующим сжатием и преобразованием данного сигнала в цифровой транспортный поток (ТП), передачу и прием информационного потока по цифровым каналам связи, декодирование цифрового ТВ-сигнала, коммутацию и распределение.

Требования, которые предъявлялись к разрабатываемой модели:

- адекватное воспроизведение работы всех телекоммуникационных устройств, из которых состоит схема ТВ связи в НКУ РС МКС;
- воспроизведение процессов происходящих в ТВ системе;
- возможность тестирования штатных процедур и моделирования нештатных ситуаций на базе модели;
- возможность использования разрабатываемой модели при модернизации схемы ТВ связи;
- возможность переноса виртуальных машин, на которых установлены различные системы в производственную среду.

экономичность при ее реализации.

Функционально модель ТВ системы состоит из следующих элементов (рис. 2.1):

- Системы формирования ТВ сигнала. Для отработки различных режимов ТВ системы были использованы два способа формирования ТВ информации, видео захват ТВ сигнала в реальном времени с внешних видеокамер и

использование различных записанных и обработанных ТВ сюжетов, соответствующих специфике контура управления КА.



Рисунок 2.1. Функциональная схема модели ТВ системы в НКУ РС МКС

- Системы компрессии видеоинформации, где происходит сжатие ТВИ и дальнейшее преобразование ТВИ в цифровой транспортный поток;
- Системы инкапсуляции ТВ сигнала, где происходит преобразование цифрового транспортного потока в IP пакеты.
- Системы, моделирующей работу цифровых каналов связи.
- Системы деинкапсуляции ТВ сигнала, где происходит преобразование IP пакетов в цифровой транспортный поток.
- Системы декомпрессии видеоинформации, где происходит преобразование цифрового транспортного потока в цифровой несжатый видеопоток;
- Системы декодирования видеоинформации. На данном элементе происходит преобразование цифрового видеосигнала в аналоговый.
- Системы отображения ТВИ.

Среди внешних процессов оказывающих влияние на работу ТВ системы рассмотрены следующие процессы:

- физический обрыв линии связи;
- погодные условия, оказывающие влияние на работу каналов связи;
- световое освещение, резкие переходы из света в тень.

К внутренним процессам, оказывающим влияние на работу ТВ системы относятся:

- сбои в работе отдельных элементов системы;
- наличие ошибок на отдельных элементах;
- не правильные настройки элементов системы (например, не оптимально подобранные характеристики пропускной способности каналов связи и системы кодирования).

Структурная схема модели системы приёма ЦТВИ в НКУ РС МКС показана на рис. 2.2.

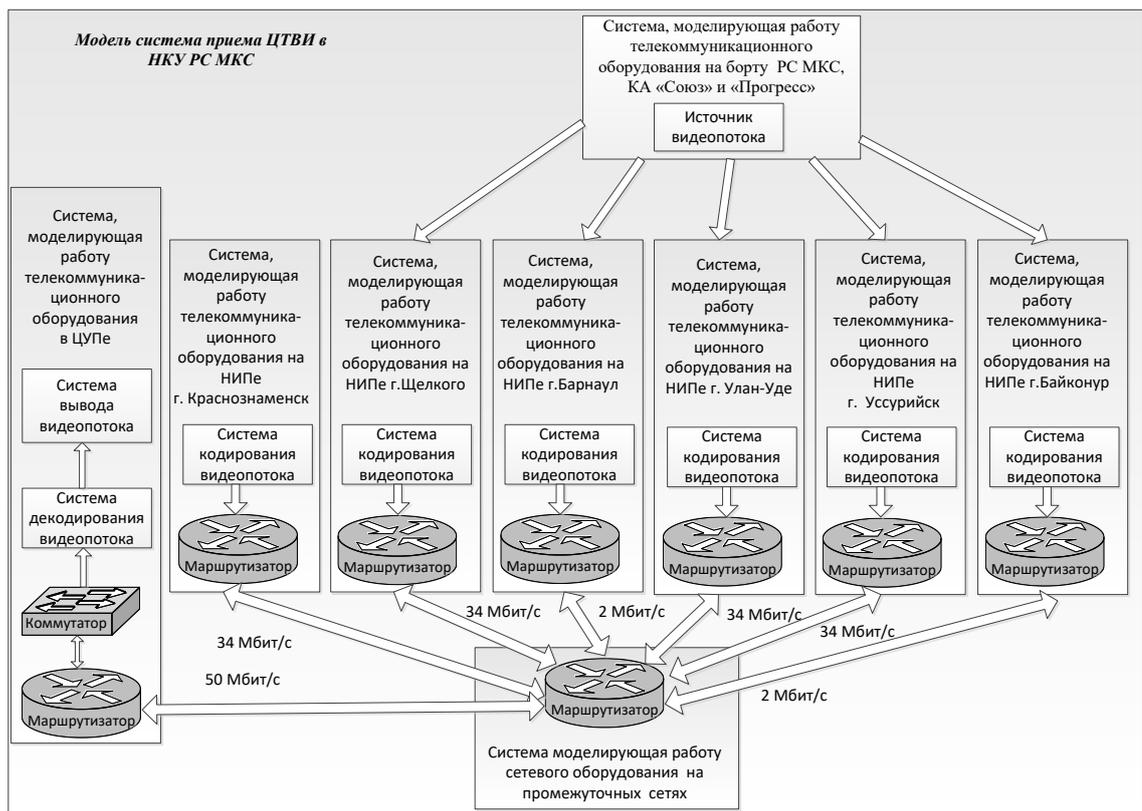


Рисунок 2.2. Структурная схема модели системы приёма ЦТВИ в НКУ РС МКС

Модели системы состоит из следующих элементов [24,30]:

- системы, моделирующей работу телекоммуникационного оборудования на борту РС МКС, КА ТПК «Союз» и ТГК «Прогресс», реализованная с помощью

программного обеспечения (ПО) генерирующего видеопоток. На вход данного элемента подается аналоговая ТВИ, а на выходе системы выдается несжатый цифровой ТВ-сигнал;

- систем, моделирующих работу телекоммуникационного оборудования на НИПах, реализованных с помощью ПО видеокодирования, а так же сетевого оборудования. На вход данного элемента модели подается несжатая ТВИ, а на выходе системы находится сжатый ТВ-сигнал, преобразованный в цифровой транспортный поток (ТП);

- системы моделирующей работу сетевого оборудования на промежуточных узлах связи, которые расположены на территории России от НИПов до ЦУПа. На входе и выходе данного элемента находится цифровой ТП, передаваемый по каналам Ethernet;

- системы, моделирующей работу телекоммуникационного оборудования в ЦУПе, состоящей из сервера, на котором установлена система декодирования видеопотока и система вывода изображения. На вход данного элемента модели подается цифровой ТП, который декодируется и отображается в виде ТВИ на экране монитора;

Для реализации данной модели в виртуальном пространстве, необходимо смоделировать сетевую и серверную инфраструктуру. В каждой сети источника потока должен быть расположен сервер, который будет генерировать видеопоток, система кодирования, а так же сетевое оборудование. Промежуточные сети передачи данных должны состоят из последовательно соединенных маршрутизаторов. Сеть назначения потока видеoinформации должна состоять из сервера получателя видеопотока, системы вывода изображения.

Основные достоинства технологии виртуализации следующие:

- эффективность использования вычислительных ресурсов;
- обеспечение непрерывности работы;
- возможность работы на одном устройстве несовместимых ОС;
- высокая гибкость и скорость реагирования системы;
- повышение доступности приложений;

- обеспечение надежной системы резервного копирования.

Вся представленная инфраструктура установлена на один физический сервер. К данному серверу предъявлялись следующие технические характеристики: процессор не хуже Intel Core i3, количество ядер процессора не меньше 4; количество потоков не менее 8, ОЗУ не менее 16 Гб; объем жесткого диска HDD не менее 1Тб; сетевой интерфейс - 1 Гбит.

Принципиальная схема процесса разработки модели мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС, представлена на рис. 2.3. Для моделирования работы сетевого оборудования требовалось создать специальную модельную сетевую инфраструктуру, на базе которой можно создать модель сети передачи данных. Для моделирования работы оборудования генерирующего видеопоток, системы кодирования, мониторинга и оценки качества ТВИ, требовалось создать специальную модельную серверную инфраструктуру.



Рисунок 2.3. Принципиальная схема процесса разработки модели системы приёма ЦТВИ в НКУ РС МКС

Состав программно-технических средств, используемых для разработки модели цифровой ТВ системы в НКУ РС МКС, представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Состав программно-технических средств

Область применения	Программное обеспечение
Системы виртуализации	Microsoft Virtual PC
	VMWare Workstation
	VMWare Player
	Oracle VirtualBox
Операционные системы	Linux Cent OS
	Windows Server
	Windows
Среда модуляции активной части сети	GNS3
	Cisco Packet Tracer
Сжатие видеопотока	Virtual Dub
Видеозахват и редактирование видеопотока	Vegas Pro
	VLC Player

2.1 Моделирование системы формирования и сжатия ЦТВИ в НКУ РС МКС

При разработке модели системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС необходимо создать интегральную среду моделирования. Для решения этой задачи может использоваться виртуальная среда моделирования. Она позволит создать в виртуальном пространстве всю серверную инфраструктуру необходимую для реализации системы формирования и сжатия ЦТВИ.

Виртуализация — система позволяющая организовать несколько изолированных друг от друга серверов с различными операционными системами (ОС) на одном физическом сервере. С помощью специального программного

обеспечения (ПО), имеется возможность программной имитации аппаратного обеспечения компьютера или сервера. Виртуализация ресурсов физического сервера позволяет гибко распределять их между приложениями, без снижения производительности [22].

Гипервизор - ПО позволяющее, реализовать систему виртуализации. Гипервизор позволяет независимое включение, перезагрузку, выключение любой из виртуальных машин. При выборе ПО для реализации системы рассматривались платформы для виртуализации следующих производителей: VMWare, Microsoft, Citrix, Oracle.

Гипервизоры можно поделить по следующему принципу:

- Автономные гипервизоры, требующие установки ПО на аппаратную платформу сервера.
- Программные гипервизоры, общий слой эмуляции, которых реализован поверх хостовой ОС.

Для реализации и дальнейшего тестирования систем мониторинга удобнее использовать гипервизоры второго типа. К достоинствам данного подхода можно причислить простоту реализации, универсальность и надежность решения. Такие гипервизоры реализованы на базе следующего ПО: Microsoft Virtual PC, VMWare Workstation, VMWare Player, Oracle VirtualBox.

Все вышеперечисленное ПО представлено тремя конкурирующими производителями сред виртуализации, в связи с этим многие параметры и функционал данных программных продуктов схожи.

Microsoft Virtual PC- программный пакет виртуализации для ОС Windows, который позволяет пользователям одновременно запускать несколько ОС на одном компьютере. Ключевое ограничение – это использование в качестве хостовой ОС семейства MS Windows и собственный формат представления гостевых ОС.

VMware Workstation – мощная среда виртуализации, используемая поверх большого количества других ОС и тесно интегрируемая с хостовой ОС. Формат представления гостевых ОС совместим с гипервизором производственного класса

VMWare ESX и средой управления кластерами гипервизоров VMWare Vcenter. Данная система является платной, но имеется полнофункциональная пробная версия, с продолжительным периодом тестирования.

Vmware Player – бесплатный проигрыватель виртуальных машин на основе виртуальной машины Vmware Workstation, может использоваться как для запуска готовых, ранее созданных систем, так и для создания образов виртуальных машин. Формат виртуальных машин так же совместим с гипервизорами производственного класса VMWare.

Oracle VirtualBox - ПО виртуализации, подходящее для различных ОС. Поддерживает формат виртуальных машин VMWare и имеет возможность полнофункциональной интеграции в среду эмуляции сетевой инфраструктуры GNS3.

Главные характеристики среды виртуализации, которые учтены при выборе:

- возможность переноса виртуальных машин в производственную среду с поддержкой гипервизоров производственного класса;
- поддержка разных форматов гостевых ОС;
- совместимость с продуктами эмуляции сетевой инфраструктуры;
- эффективное использование аппаратных ресурсов.

С целью дальнейшей масштабируемости и возможности переноса в производственную среду формат файлов ОС был выбран VMWare, который совместим со средой эмуляции сетевой инфраструктуры GNS3.

Для реализации модели системы приёма и мониторинга ЦТВИ созданы десять виртуальных машин:

- 7 серверов, с ПО, моделирующим работу телекоммуникационного оборудования на НИПах и в ЦУПе;
- сервер, с ПО, моделирующим работу системы оценки качества ЦТВИ;
- сервер, с ПО, моделирующим работу системы мониторинга;
- сервер, с ПО, моделирующим работу почтового сервера.

При их создании использованы следующие настройки:

- тип и версии ОС – Windows Server 2008R2/ Windows 8.1;
- количество процессоров и ядер – 1-2 ядра;
- объем оперативной памяти – 1024-4096МБ;
- тип подключения к локальной сети – мостовое соединение с сетью хоста;
- размер виртуального жесткого диска – 40 Гб.

Для этого необходимо установить ПО VMware Workstation. Далее необходимо создать пять виртуальных машин. Необходимо выбрать источник установки гостевой ОС, тип и версии ОС (рис 2.4), количество процессоров и ядер, объема оперативной памяти (рис. 2.5).

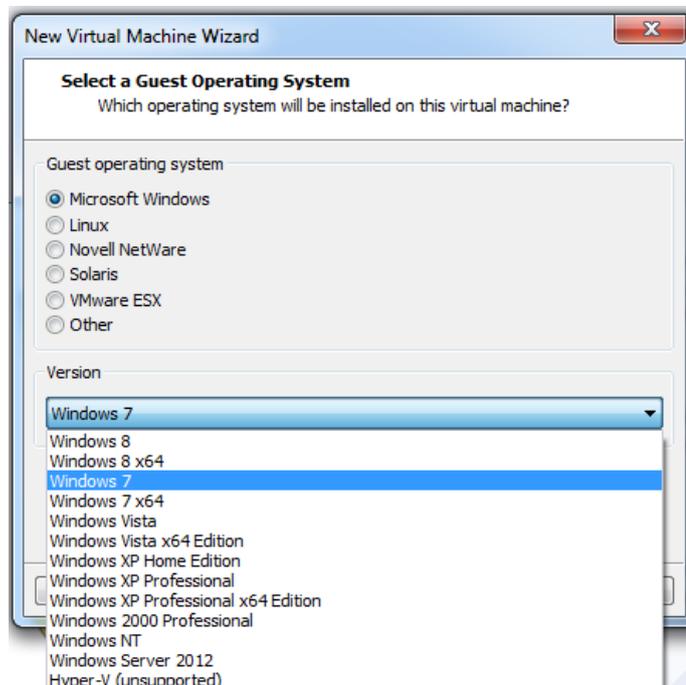


Рисунок 2.4. Выбор версии ОС

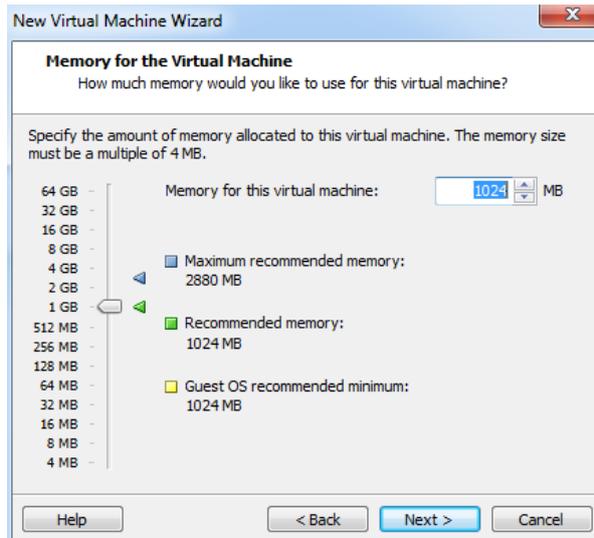


Рисунок 2.5. Выбор объема оперативной памяти

Далее необходимо выбрать тип подключения к локальной сети. Виртуальная машина должна быть в той же сети, что и компьютер, на котором она устанавливается, т.е. необходимо выбрать выделенный IP адрес (рис. 2.6).

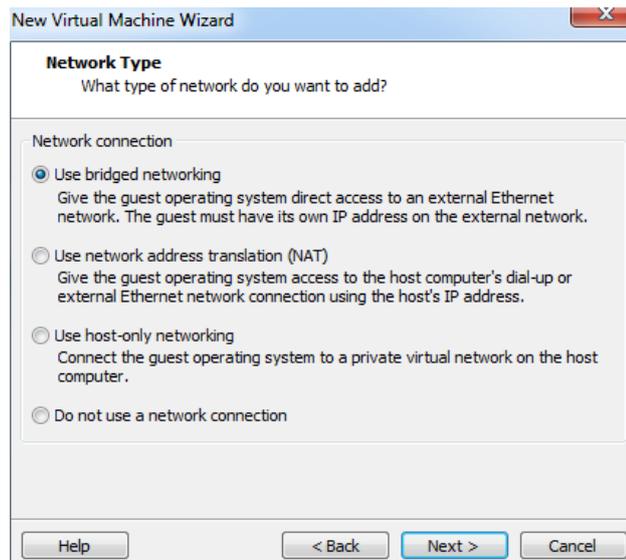


Рисунок 2.6. Выбор типа подключения к локальной сети

Далее необходимо выбрать: типа контроллеров жестких дисков, тип жестких дисков. На рисунке 2.7 показан процесс настройка размера и параметров виртуального жесткого диска.

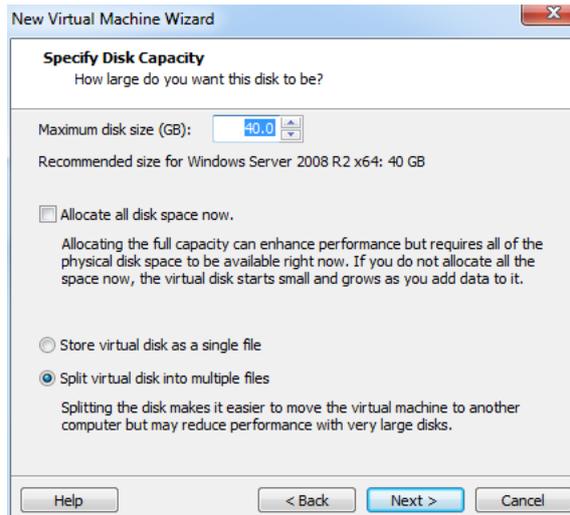


Рисунок 2.7. Настройка размера и параметров виртуального диска

На рисунке 2.8 показаны установленные параметры виртуальной машины. Для комфортной работы с ОС Windows достаточно 40 Гб. Размер файла большой, необходимо выбрать возможность размещения виртуального жесткого диска в нескольких файлах, в дальнейшем это упростит процедуру его переноса.

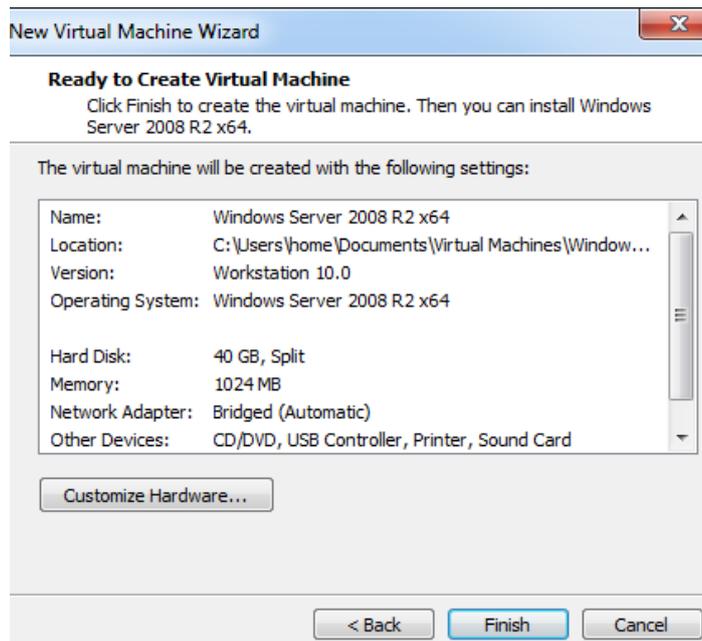


Рисунок 2.8. Установленные параметры виртуальной машины

На рисунке 2.9 показана установленная гостевая ОС. Аналогично создаем еще две виртуальные машины. На всех виртуальных машинах устанавливаем ОС Windows.

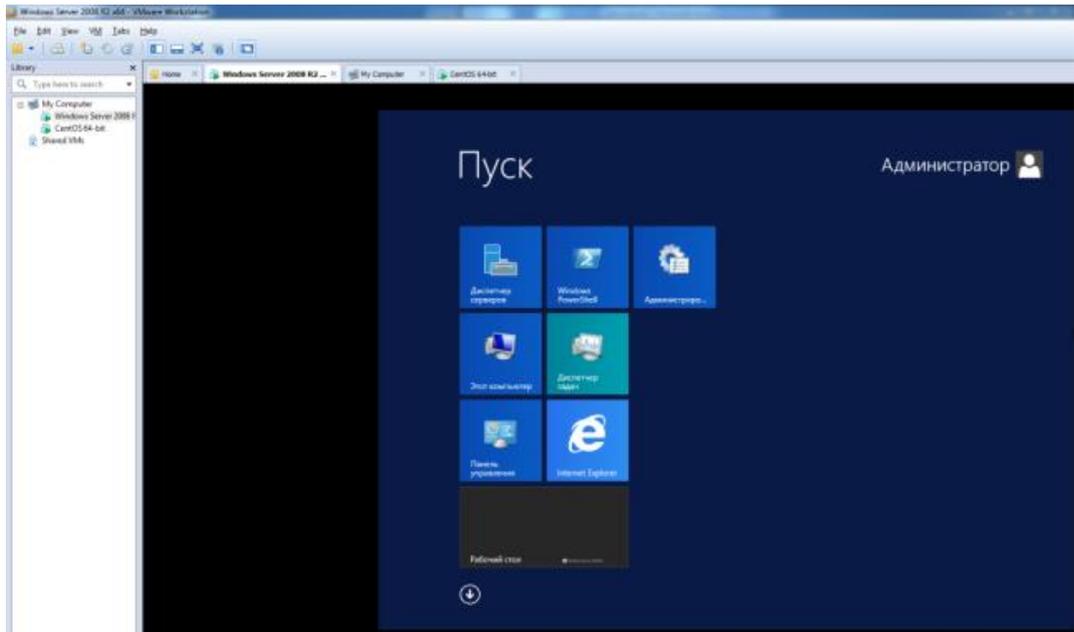


Рисунок 2.9. Установленная гостевая ОС

Далее необходимо создать виртуальную машину с ОС Linux, предназначенной для установки системы мониторинга. Необходимо выбрать ОС (рис. 2.10), объем оперативной памяти, размер и параметры виртуального жесткого диска.

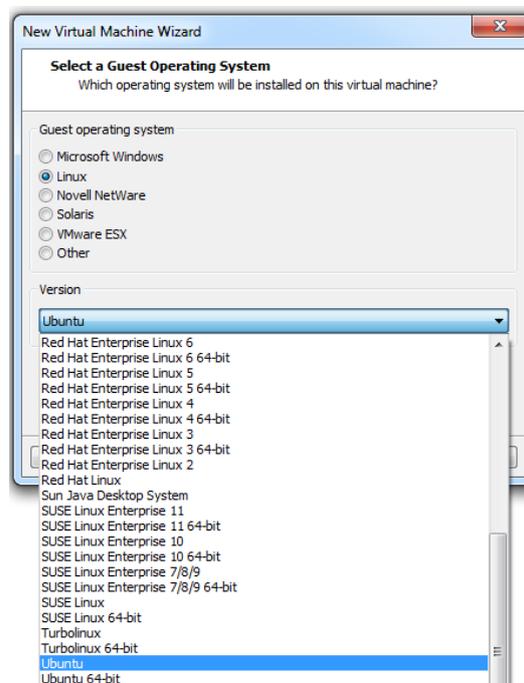


Рисунок 2.10. Выбор ОС

На рисунке 2.11 показан финальный экран проверки настроек создаваемой виртуальной машины.

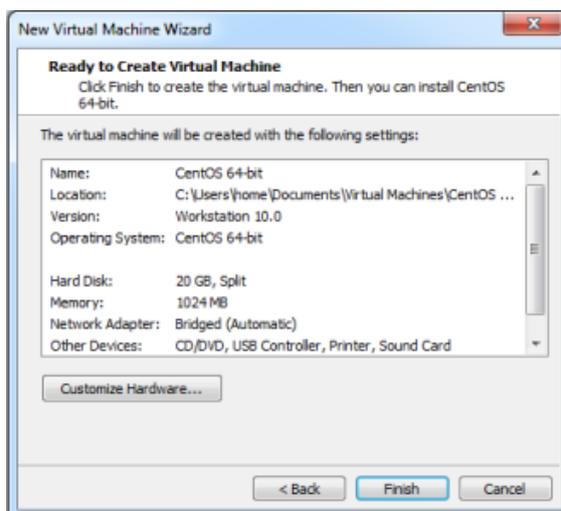


Рисунок 2.11. Финальный экран проверки настроек создаваемой виртуальной машины

Далее необходимо на созданной виртуальной машине установить ОС Linux (рис. 2.12).

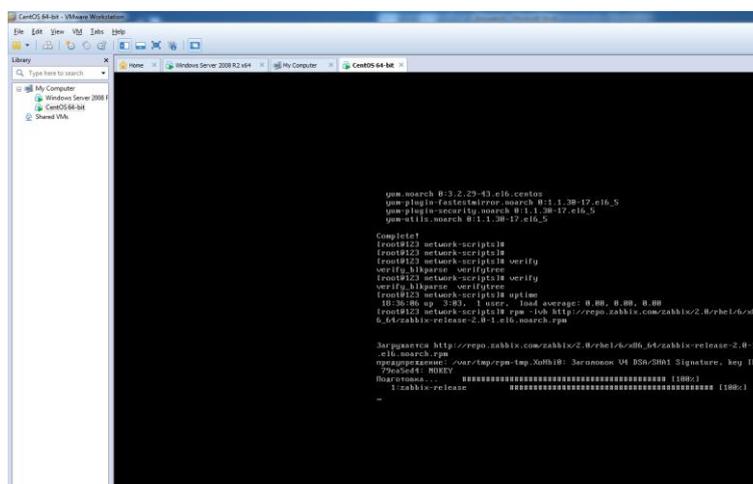


Рисунок 2.12. Процесс установки ОС Linux

При дальнейшем использовании виртуальной системы, существует возможность мигрировать, разработанную среду, на реально действующее оборудование.

Далее на созданных виртуальных машинах, установлено ПО позволяющее смоделировать процесс формирования и сжатия ТВ сигнала. Для этих целей использовались два способа формирования ТВ сигнала. Первый это использование реального видеопотока, поступающего с внешней видекамеры на

плату видеозахвата. Вторым способом это использование записанных и смонтированных видеопоследовательностей, соответствующих сюжетам характерным для КОУ КА. Эта функция реализована на базе ПО Vegas Pro и ПО VLC Player .

Работа системы компрессии была смоделирована с помощью ПО Virtual Dub. Данное ПО позволяет производить видеозахват, конвертировать и перекодировать видеофайлы, производить монтаж (вырезать и склеивать различные отрезки), накладывать фильтры и производить сжатие. Для проведения тестирования использовались различные коэффициенты сжатия.

2.3 Моделирование системы распространения ЦТВИ в НКУ РС МКС

В качестве системы эмуляции сетевой инфраструктуры, моделирующей работы цифровых каналов связи в НКУ РС МКС рассматривались 2 системы: Cisco Packet Tracer и GNS3.

ПО Cisco Packet Tracer (рис. 2.13) – проста в установке и позволяет быстро создать комплексную среду моделирования потоков информации. ПО Cisco Packet Tracer позволяет создавать комплексные сетевые схемы и проводить тестирование базовых сетевых сервисов. Но данная система не позволяет произвести полную интеграцию с серверами и источниками видеопотока.

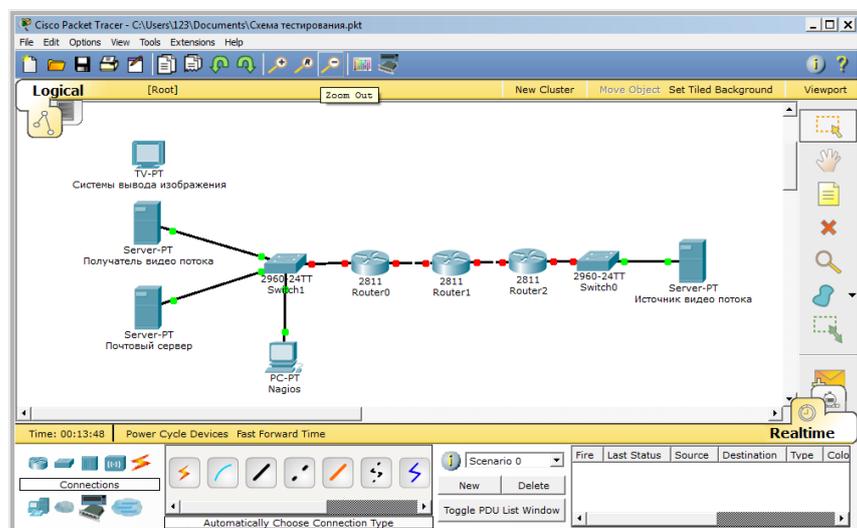


Рисунок 2.13. Тестовая среда в ПО Cisco Packet Tracer

Система GNS3 позволяет разворачивать сложные сетевые схемы и позволяет использовать в схемах оборудование различных производителей (рис. 2.14). Ключевыми преимуществами данной системы являются полнофункциональное использование ПО маршрутизаторов и коммутаторов, т.е. тестирование не только функциональности и конкретных настроек той или иной модели оборудования, но и тестирование каждой конкретной версии ПО данного оборудования.

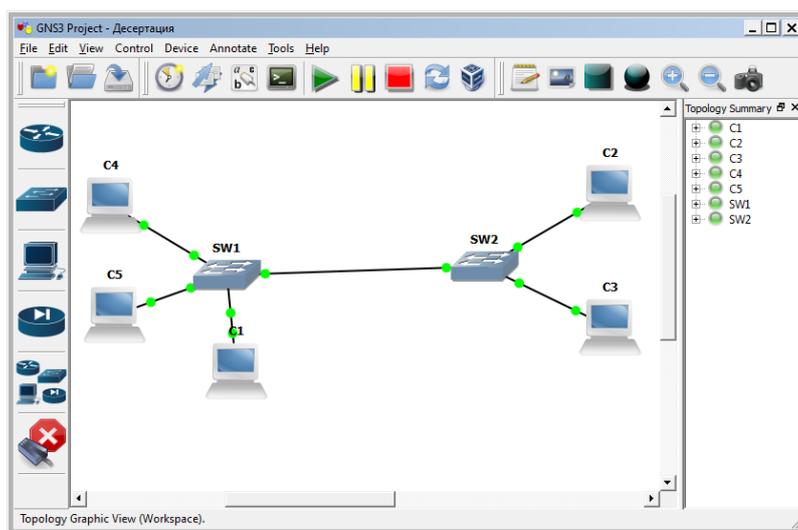


Рисунок 2.14. Тестовая среда в программе GNS3

Система GNS3 позволяет разворачивать сложные сетевые схемы и позволяет использовать в схемах оборудование различных вендоров, например Cisco, Juniper и др. Уникальной возможностью данной системы является полнофункциональная интеграция сетевой части с гипервизорами VMWare и Oracle VirtualBox.

Системе GNS3 для моделирования маршрутизаторов потребуются версии ПО Cisco IOS, благодаря чему может быть полностью смоделирована сетевая среда и наборы команд в привязке к конечной версии ПО коммутаторов и маршрутизаторов. Кроме того, благодаря интеграции со средой виртуализации в контур моделирования можно добавлять реальные сервера и пользовательские ОС, т.е. фактически не налагается ограничений на сложность создаваемых моделей. При этом система достаточно сложна в настройке и требует установки дополнительного ПО.

После проведенного анализа, была выбрана система GNS3.

Для создания системы моделирования сетевой инфраструктуры необходимо загрузить образцы ПО, используемого сетевого оборудования в НКУ РС МКС. Далее необходимо добавить сетевые компоненты на карту сети (рис. 2.15).

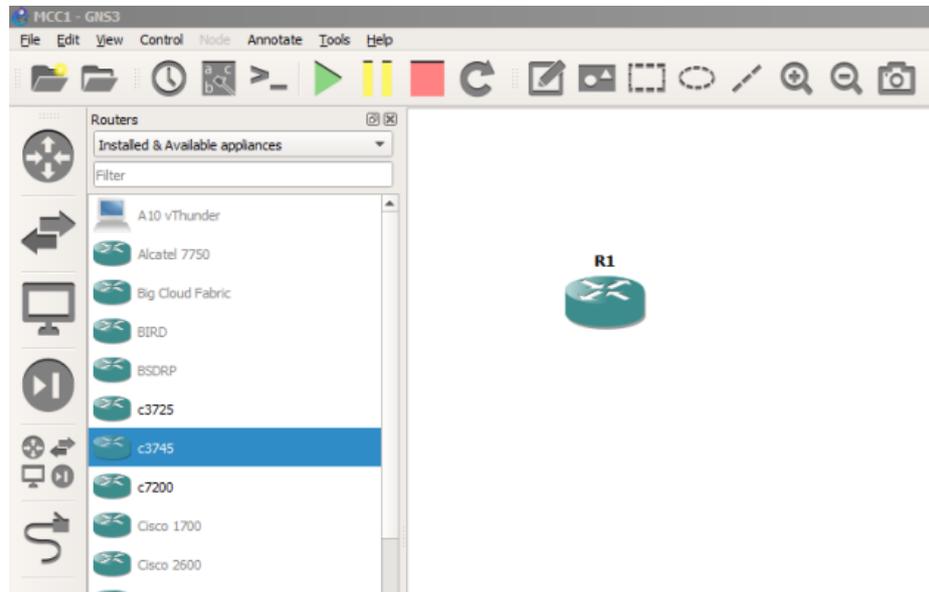


Рисунок 2.15. Добавление маршрутизатора на карту сети

Далее необходимо сконфигурировать дополнительные интерфейсы и модули для сетевого оборудования (рис. 2.16).

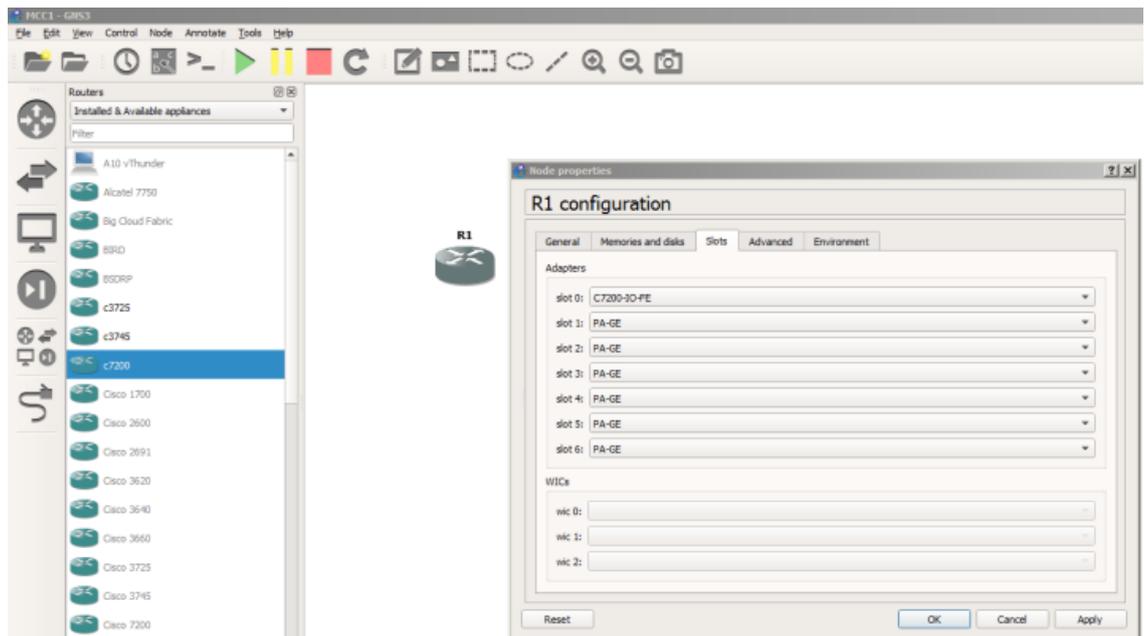


Рисунок 2.16. Экран конфигурирования дополнительных интерфейсов и модулей для маршрутизатора «Cisco»

Итоговая карта сетевой инфраструктуры показана на рис. 2.17.

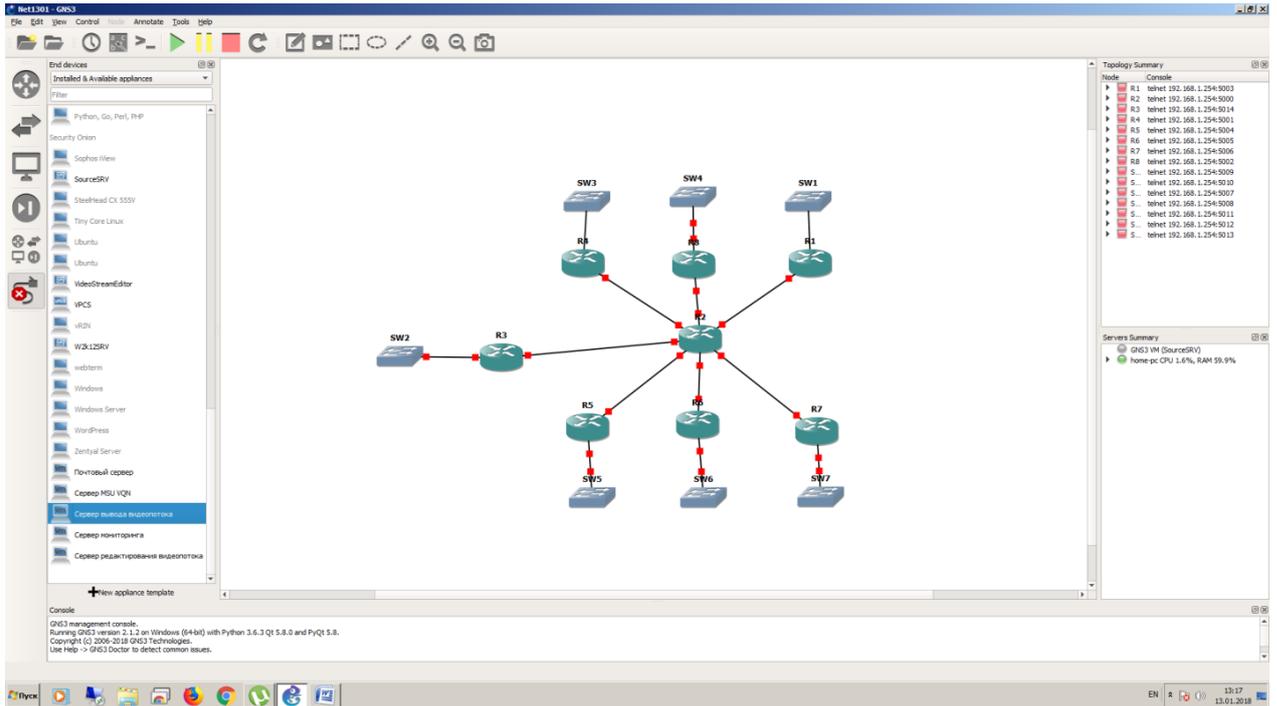


Рисунок 2.17. Итоговая карта сетевой инфраструктуры

Адресное пространство данной модели представляет четырнадцать различных сетей. В качестве адресов выбраны диапазоны рекомендованные IETF в RFC1918.

В результате получены следующие результаты:

Сеть источника видеосигнала 192.168.0.X/24:

- 192.168.0.1 – Маршрутизатор R1 интерфейс FastEthernet 0/0
- 192.168.0.2 – Коммутатор SW1
- 192.168.0.10 – Сервер NIP0

Участок транспортной сети R1-R2 10.0.0.X/24:

- 10.0.0.2 – Маршрутизатор R1 интерфейс FastEthernet 0/1
- 10.0.0.1 – Маршрутизатор R2 интерфейс GigabitEthernet 1/0

Участок транспортной сети R2-R3 10.2.2.X/24:

- 10.2.2.1 – Маршрутизатор R2 интерфейс GigabitEthernet 2/0
- 10.2.2.2 – Маршрутизатор R3 интерфейс FastEthernet 0/0

Сеть назначения видеосигнала 192.168.1.X/24:

- 192.168.1.1 – Маршрутизатор R3 интерфейс FastEthernet 0/1

- 192.168.1.2 – Коммутатор SW2
- 192.168.1.10 – Сервер мониторинга Monitoring
- 192.168.1.20 – Сервер редактирования видеопотока VideoEdit
- 192.168.1.30 – Почтовый сервер Mail.
- 192.168.1.40 – Сервер MSUVQN

Сеть NIP1 192.168.3.X/24:

- 192.168.3.1 – Маршрутизатор R4 интерфейс FastEthernet 0/0
- 192.168.3.2 – Коммутатор SW3
- 192.168.3.10 – Сервер NIP1

Участок транспортной сети R4-R2 10.3.3.X/24:

- 10.3.3.2 – Маршрутизатор R4 интерфейс FastEthernet 0/1
- 10.3.3.1 – Маршрутизатор R2 интерфейс GigabitEthernet 3/0

Сеть NIP2 192.168.4.X/24:

- 192.168.4.1 – Маршрутизатор R8 интерфейс FastEthernet 0/0
- 192.168.4.2 – Коммутатор SW4
- 192.168.4.10 – Сервер NIP2

Участок транспортной сети R8-R2 10.4.4.X/24:

- 10.4.4.2 – Маршрутизатор R8 интерфейс FastEthernet 0/1
- 10.4.4.1 – Маршрутизатор R2 интерфейс GigabitEthernet 4/0

Сеть NIP4 192.168.5.X/24:

- 192.168.5.1 – Маршрутизатор R5 интерфейс FastEthernet 0/0
- 192.168.5.2 – Коммутатор SW5
- 192.168.5.10 – Сервер NIP4

Участок транспортной сети R5-R2 10.5.5.X/24:

- 10.5.5.2 – Маршрутизатор R5 интерфейс FastEthernet 0/1
- 10.5.5.1 – Маршрутизатор R2 интерфейс GigabitEthernet 5/0

Сеть NIP5 192.168.6.X/24:

- 192.168.6.1 – Маршрутизатор R6 интерфейс FastEthernet 0/0
- 192.168.6.2 – Коммутатор SW6

- 192.168.6.10 – Сервер NIP5

Участок транспортной сети R6-R2 10.6.6.X/24:

- 10.6.6.2 – Маршрутизатор R6 интерфейс FastEthernet 0/1
- 10.6.6.1 – Маршрутизатор R2 интерфейс GigabitEthernet 6/0

Сеть NIP6 192.168.7.X/24:

- 192.168.7.1 – Маршрутизатор R7 интерфейс FastEthernet 0/0
- 192.168.7.2 – Коммутатор SW7
- 192.168.7.10 – Сервер NIP6

Участок транспортной сети R7-R2 10.1.1.X/24:

- 10.1.1.2 – Маршрутизатор R7 интерфейс FastEthernet 0/1

10.1.1.1 – Маршрутизатор R2 интерфейс GigabitEthernet 0/0

Схема полученного адресного пространства приведена на рис. 2.18.

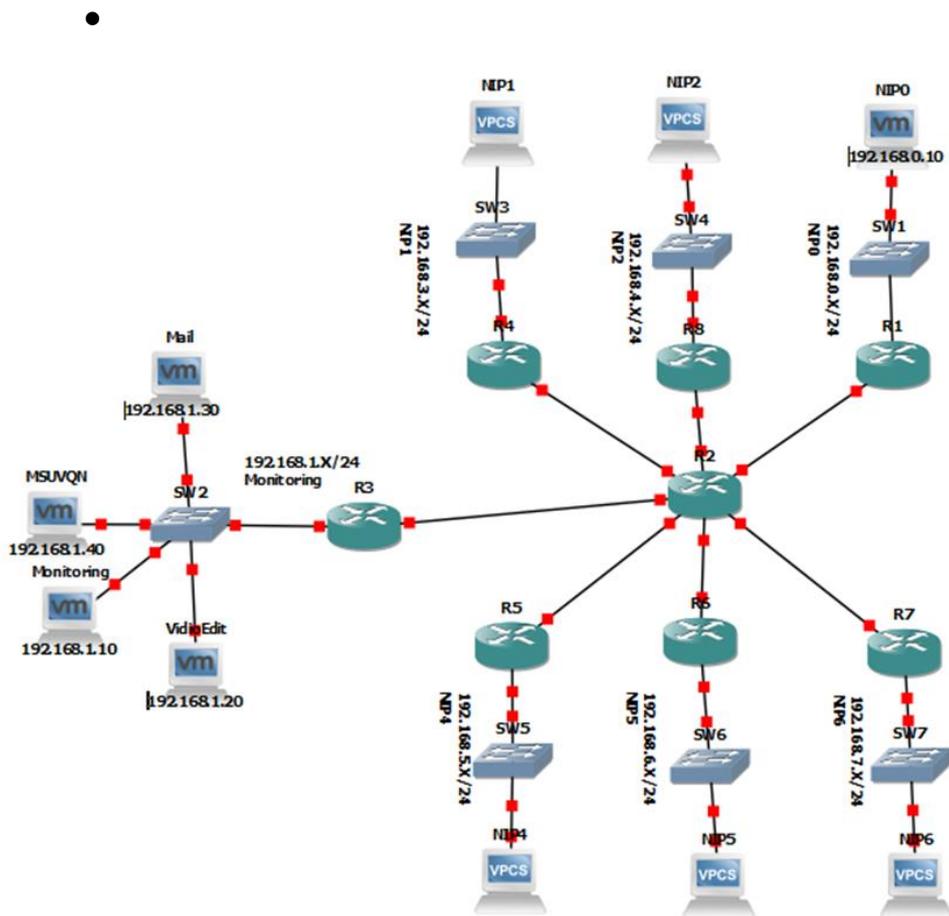


Рисунок 2.18. Схема адресного пространства

Следующим этапом является конфигурирование сетевых устройств. Для обеспечения функционирования данной модели как единой информационной сети и учета требований по мониторингу состояния всех устройств потребуется выполнить следующие работы:

- настройка адресов на маршрутизаторах;
- настройка динамической маршрутизации OSPF;
- настройка протокола управления и сбора статистики SNMP.

Настройка IP адресов выполняется последовательно на всех интерфейсах маршрутизаторов согласно разработанному плану разбиения адресного пространства. Для конфигурирования используется следующая последовательность команд:

```
RX#configure terminal  
RX(config)#interface fa 0/X  
RX(config-if)#ip address X.X.X.X 255.255.255.0  
RX(config-if)#exit
```

Данная последовательность команд повторяется для каждого интерфейса маршрутизатора. После окончания конфигурирования необходимо сохранить изменения командой:

```
RX#write memory
```

На следующем шаге настраивается динамическая маршрутизация OSPF для автоматической передачи информации о сетях и маршрутах к ним между маршрутизаторами сети. Для каждого маршрутизатора выполняется следующая последовательность команд:

```
RX#configure terminal  
RX(config)#router ospf 100  
RX(config-router)#network 0.0.0.0 0.0.0.0 area 0  
RX(config-router)#exit
```

Результаты конфигурирования можно проверить командами:

```
RX#ping X.X.X.X  
RX#show ip route
```

RX#show ip ospf neighbor

Результаты работы команд *show ip ospf neighbor* и *show ip route* приведены на рис. 2.19. Корректность настройки подтверждается завершение установления отношений в поле State команды *show ip ospf neighbor* в состоянии FULL/DR с соседним маршрутизатором. И наличие маршрутов до всех необходимых сетей назначения помеченных кодом «O» в выводе команды *show ip route*.

```

SuperPUTTY - R2
R2 (config-router)#net
R2 (config-router)#network 10.0.0.0 0.0.0.255 area 0
R2 (config-router)#
*Mar 1 00:16:30.619: %OSPF-5-ADJCHG: Process 100, Nbr 10.1.1.1 on FastEthernet0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R2 (config-router)#Z
R2#wr
*Mar 1 00:16:32.119: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
R2#wr mem
Building configuration...
[OK]
R2#sh ip os
R2#sh ip ospf ne
R2#sh ip ospf neighbor
Neighbor ID      Pri   State           Dead Time   Address        Interface
10.1.1.1         1     FULL/DR         00:00:36    10.0.0.2       FastEthernet0/1
R2#sh ip ro
R2#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       I - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
O   10.1.1.0 [110/20] via 10.0.0.2, 00:00:09, FastEthernet0/1
C   10.0.0.0 is directly connected, FastEthernet0/1
C   192.168.0.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O   192.168.1.0/24 [110/30] via 10.0.0.2, 00:00:09, FastEthernet0/1
R2#ping 192.168.1.1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.1.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 36/63/152 ms
R2#

```

Рисунок 2.19. Проверка конфигурации OSPF на маршрутизаторе R2

Для настройки SNMP последовательно выполняются следующие команды на маршрутизаторах.

RX#configure terminal

RX(config)#snmp-server community mcc-read

RX(config)#exit

Процесс настройки, а так же выбор дополнительных параметров приведен на рис. 2.20.

```

R2
Ethernet0/0          unassigned      YES NVRAM  administratively down down
GigabitEthernet0/0  10.1.1.1        YES NVRAM  up         up
GigabitEthernet1/0  10.0.0.1        YES NVRAM  up         up
GigabitEthernet2/0  10.2.2.1        YES NVRAM  up         up
GigabitEthernet3/0  10.3.3.1        YES NVRAM  up         up
GigabitEthernet4/0  10.4.4.1        YES NVRAM  up         up
GigabitEthernet5/0  10.5.5.1        YES NVRAM  up         up
GigabitEthernet6/0  10.6.6.1        YES NVRAM  up         up
R2#
R2#conf t
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R2(config)#snmp-ser
R2(config)#snmp-server com
R2(config)#snmp-server community mcc-read
R2(config)#snmp-ser
R2(config)#snmp-serv
R2(config)#snmp-serve
R2(config)#snmp-?
% Unrecognized command
R2(config)#snm
R2(config)#snmp-se
R2(config)#snmp-server lo
R2(config)#snmp-server location Core
R2(config)#

```

Рисунок 2.20. Конфигурирование SNMP на маршрутизаторе R2

Финальным этапом конфигурирования является проверка корректного прохождения сетевого трафика между всеми компонентами модели, проверка отсутствия ошибок на интерфейсах и роста счетчиков прохождения пакетов.

Для этого используются команды *ping* и *traceroute* на серверах, коммутаторах и маршрутизаторах и команды *show interface gi X/X* на маршрутизаторах. Результаты выполнения команд на маршрутизаторах приведены на рис. 2.21.

```

R2#
R2#
R2#
R2#
R2#
R2#
R2#
R2#sh int gi 1/0
GigabitEthernet1/0 is up, line protocol is up
  Hardware is 82543, address is ca01.131c.001c (bia ca01.131c.001c)
  Description: CoreNIP0
  Internet address is 10.0.0.1/24
  MTU 1500 bytes, BW 1000000 Kbit/sec, DLY 10 usec,
    reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
  Encapsulation ARPA, loopback not set
  Keepalive set (10 sec)
  Full Duplex, 1Gbps, link type is auto, media type is SX
  output flow-control is unsupported, input flow-control is unsupported
  ARP type: ARPA, ARP Timeout 04:00:00
  Last input 00:00:00, output 00:00:03, output hang never
  Last clearing of "show interface" counters never
  Input queue: 0/75/0/0 (size/max/drops/flushes); Total output drops: 0
  Queueing strategy: fifo
  Output queue: 0/40 (size/max)
  5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
  5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
  29 packets input, 3260 bytes, 0 no buffer
  Received 14 broadcasts (0 IP multicasts)
  0 runts, 0 giants, 0 throttles
  0 input errors, 0 CRC, 0 frame, 0 overrun, 0 ignored
  0 watchdog, 0 multicast, 0 pause input
  349 packets output, 34872 bytes, 0 underruns
  0 output errors, 0 collisions, 1 interface resets
  0 unknown protocol drops
  0 babbles, 0 late collision, 0 deferred
  0 lost carrier, 0 no carrier, 0 pause output
  0 output buffer failures, 0 output buffers swapped out
R2#

```

Рисунок 2.21. Вывод статистики на интерфейсе GigabitEthernet 1/0 маршрутизатора R2

В результате была разработана полнофункциональная модель для тестирования комплексной сетевой и серверной инфраструктуры, использующая реальное ПО и позволяющая смоделировать системы и протестировать функционал любого уровня сложности для сетей на базе маршрутизаторов Cisco и серверов и рабочих станций Windows, Linux и MacOs.

2.3 Интеграция системы формирования, сжатия и распространения в виртуальном пространстве

На следующем шаге разработки модели системы приёма ЦТВИ в НКУ РС МКС проведена интеграция системы формирования, сжатия и распространения в виртуальном пространстве. Для этого в созданной модели сетевой инфраструктуры на основе ПО GNS3 добавлены ранее созданные, настроенные и сконфигурированные в ПО VMWare Workstation виртуальные машины (рис. 2.22).

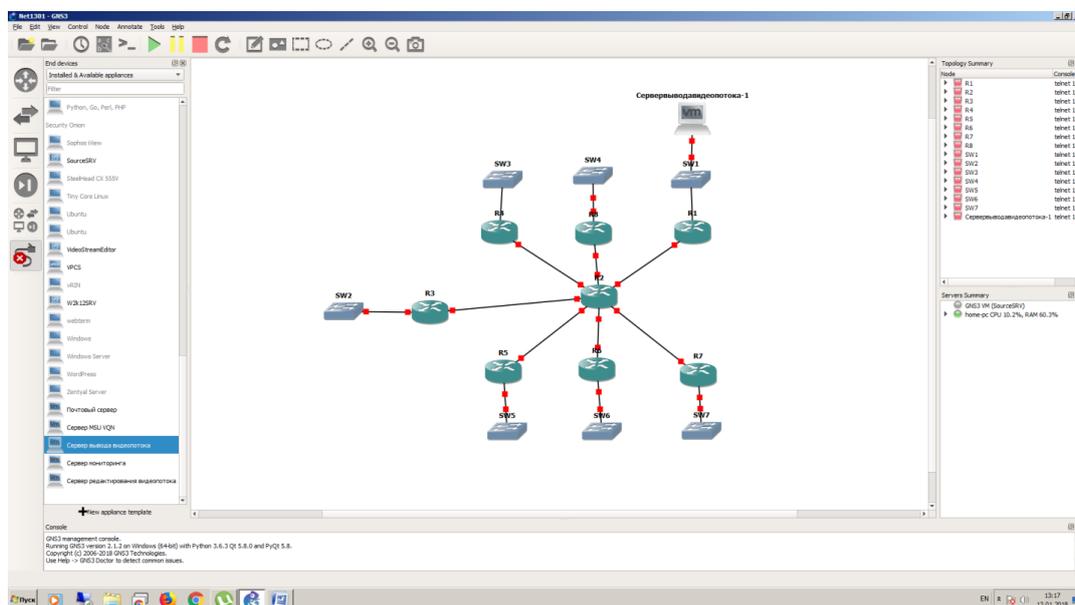


Рисунок 2.22. Процесс добавления к сетевой инфраструктуре виртуального сервера

В результате последовательного добавления виртуальных машин получаем следующую карту сети (рис. 2.23).

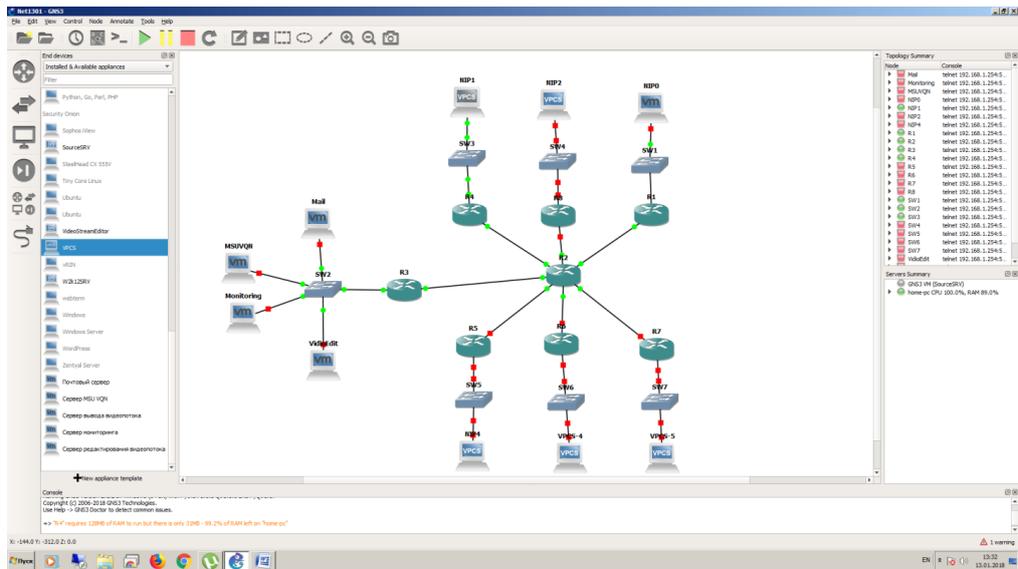


Рисунок 2.23. Итоговая карта сетевой и серверной инфраструктуры

Для реализации системы формирования и сжатия ТВ сигнала использовано ПО VLC Player и ПО VirtualDub. Для отработки различных режимов ТВ системы были использованы два способа формирования ТВ сигнала, видеозахват в реальном времени и использование различных записанных и обработанных ТВ сюжетов, соответствующих специфике контура управления КА.

После настройки всех компонентов системы проведена ее отладка и тестирование. Проверка номинальных условий проведена для 6 сценариев использующихся в контуре управления КА (старт, стыковка, посадка, выход в открытый космос, репортаж с МКС и демонстрация научных экспериментов). При этом применялись специальные настройки сетевых устройств и систем кодирования для каждого из стандартных сценариев. При проведении тестирования модель показала полное соответствие работе реальной ТВ системы в НКУ РС МКС.

2.4 Выводы по второй главе

Во второй главе описан процесс создания модели системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС. Виртуальная модель системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС является аналогом реальной системы, в котором характер протекания основных процессов подобен протеканию таких же процессов в реальной системе. Создание модели продиктовано необходимостью разработки и тестирования системы

оперативного многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ. Приведена схема взаимодействия комплекса мониторинга с системой приема ЦТВИ в НКУ РС МКС и с моделью данной системы.

В первой части второй главы проведен анализ возможностей систем виртуализации для их использования при создании модели системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС. Моделирование серверной инфраструктуры системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС. Представлен процесс реализации системы моделирования серверной инфраструктуры на базе ПО VMWare Workstation. Описан процесс создания и конфигурирования серверов, а также процесс установки ОС Windows.

Во второй части второй главы проведен анализ возможностей систем эмуляции сетевого оборудования. В качестве системы эмуляции сетевой инфраструктуры рассматривались 2 системы: Cisco Packet Tracer и GNS3. После проведенного анализа, была выбрана система GNS3. Представлен процесс реализации системы моделирования сетевой инфраструктуры на базе ПО GNS3. Разработано адресное пространство данной модели. Представлен процесс конфигурирования сетевых устройств.

В третьей части второй главы описан процесс интеграции сетевой и серверной частей. В результате получена необходимая модель, содержащая сетевые устройства и серверы, позволяющая смоделировать систему приема ЦТВИ в НКУ РС МКС.

3. Модель проектируемой системы многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС

Для гарантии качества цифровой телевизионной информации необходимо проводить постоянный мониторинг сетевой инфраструктуры, по которой передается ТВ-сигнал. Это связано с тем, что ошибки на сетевых элементах имеют свойство накапливаться. До определенного уровня это не сказывается на работе системы в целом и не отражается на качестве ТВИ, но при достижении определенного барьера возникает лавинообразное ухудшение в работе сетевого оборудования, что приводит к значительному ухудшению качества ТВИ, рассыпанию ТВ-картинки или ее замиранию. Необходима разработка системы мониторинга ТВ тракта в НКУ РС МКС.

Реализация системы мониторинга ЦТВИ функционально делиться на две части: мониторинг на сетевом уровне и уровне компрессии будет осуществляться с помощью ПО, предназначенного для мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры, а мониторинг на уровне форматирования будет осуществляться с помощью специального ПО, предназначенного для объективной оценки качества ЦТВИ.

На рис. 3.1 представлена принципиальная схема процесса разработки модели системы мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС, включающая в себя следующие процессы сформированы требования к аппаратно-программным средствам (АПС), выбрано ПО для реализации системы мониторинга, соответствующее описанным требованиям, установлено ПО мониторинга, настроены агенты системы мониторинга на устройствах сети, сконфигурированы сенсоры, разработан регламент системы оповещения и произведена ее настройка.



Рисунок 3.1. Принципиальная схема процесса разработки модели системы мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС

Требования к АПС системы мониторинга:

- эффективная служба диагностики и своевременного оповещения для предупреждения нештатных ситуаций;
- сбор, обработка, хранение и отображение полной информации о состоянии всех компонентов инфраструктуры сети независимо от архитектуры в реальном времени;
 - масштабируемость;
 - невмешательство в работу оборудования;
 - открытость, позволяющая управлять оборудованием различных производителей.

На рис. 3.2 представлена структурная схема модели мониторинга ЦТВИ. Система мониторинга состоит из следующих элементов:

- системы оценки качества ЦТВИ, реализованной с помощью ПО, позволяющего производить объективную оценку качества. На вход данного элемента подается ЦТВИ, которое сравнивается с эталонным изображением с помощью специальных метрик, а на выходе системы выдается коэффициент объективной оценки;

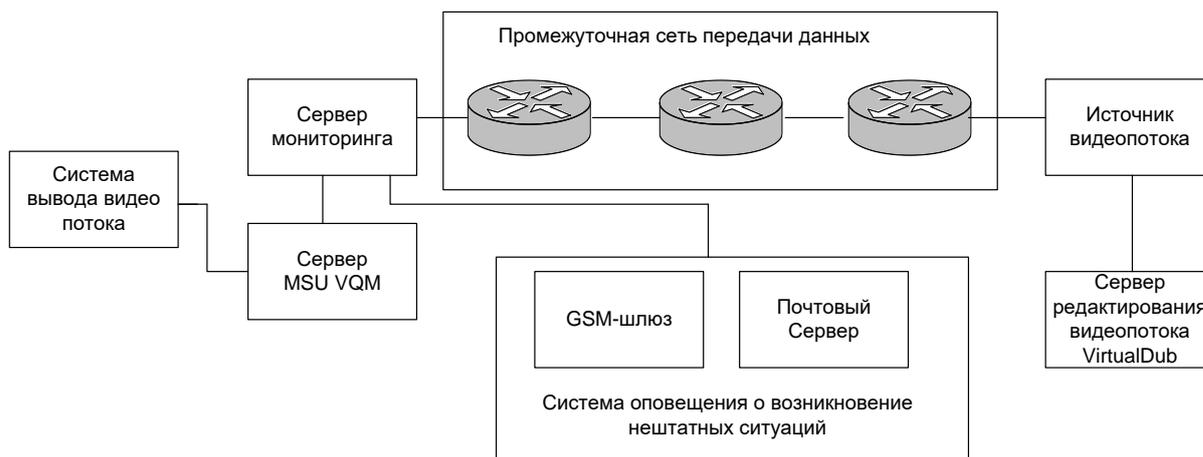


Рисунок 3.2. Структурная схема модели мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС

- системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта. На вход данного элемента подаются значения сенсоров сетевых устройств и серверов, далее происходит сравнение с пороговыми значениями, при превышении данных значений в систему оповещения передается сигнал о возникновении нештатной ситуации;

- системы оповещения о возникновении нештатных ситуаций, реализованной с помощью почтового сервера и GSM-шлюза, которые позволяют отправлять sms и e-mail сообщения.

Состав программно-технических средств, используемых для разработки системы оперативного мониторинга ЦТВИ, представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Состав программно-технических средств

Область применения	Программное обеспечение
Система мониторинга на уровне кодирования и распространения	Nagios Core
	PRTG
	Zabbix
Система мониторинга качества ЦТВИ на уровне форматирования	MSU VQMT
	Elecard Video QuEst
	Avisynth plugins (SSIM, VQM)
	Video Quality Studio
Почтовый сервер	Mail.ru

Система СМС оповещения	DEVINO MEDIA
База данных	MySQL

На рис. 3.3 показана модель виртуальной структуры системы оперативного многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС.

Получатель видеопотока	Источник видеопотока	PRTG	Почтовый сервер	GSM Шлюз	
Гостевая ОС Windows	Гостевая ОС Windows	ОС Linux	Гостевая ОС Windows	Гостевая ОС Windows	Управление
GNS3		Гипервизор			
Хостовая ОС Windows					
Физический сервер					

Рисунок 3.3. Схема многослойной виртуальной платформы

3.1 Реализация системы оценки качества ЦТВИ на уровне форматирования

Производить оценку качества ТВ изображения в цифровых системах с помощью методов, применяемых в аналоговом телевидении, невозможно в связи с тем, что оценка цифрового изображения существенно зависит от содержания сюжета и может сильно изменяться во времени в процессе передачи. Тестирование цифровых систем с помощью традиционных испытательных сигналов и статических тестовых таблиц не эффективно, так как они легко подвергаются компрессии без заметных искажений и не позволяют получить объективную оценку качества работы системы сжатия в реальных условиях. Необходима разработка система объективной оценки качества ЦТВИ в НКУ РС МКС. Для реализации системы оценки качества ЦТВИ рассматривались различные программные продукты, характеристики которых приведены в таблице 3.2.

MSU VQMT – это приложение позволяет создать объективное сравнение видеокodeков и выполнить анализ фильтров обработки видео. Для сравнения используется 24 объективные метрики.

Таблица 3.2. Сравнение систем мониторинга

Название	Количество поддерживаемых метрик оценки качества	Визуализация показателей оценки	Графики с результатами сравнения	Сохранение кадров с максимальной разницей в качестве
MSU VQMT	24	да	да	да
Elecard Video QuEst	6	да	нет	нет
Avisynth plugins	2	нет	нет	нет
Video Quality Studio	3	нет	нет	нет

Elecard Video Quality Estimator - коммерческое приложение, которое позволяет сравнить два закодированных видео потока с исходным потоком, проанализировать различия и выявить часть кода, которая дает разницу в качестве видео. Сравнение происходит на основе 6 объективных метрик сравнения качества: PSNR, SSIM, DELTA, MSE, MSAD и VQM.

Avisynth plugins - приложение, позволяющее производить сравнение видео на основе 2 объективных метрик сравнения качества: SSIM, VQM.

Video Quality Studio - ПО, предназначенное для объективной оценки качества видео. Сравнение происходит на основе 3 объективных метрик сравнения качества: PSNR, SSIM, DELTA, MSE, MSAD и VQM.

В результате проведенного анализа, для реализации системы оценки качества ЦТВИ в НКУ РС МКС, выбрано ПО MSU VQMT. Так как оно поддерживает наибольшее количество метрик оценки качества видео и имеет графический интерфейс.

Для реализации системы оценки качества ЦТВИ необходимо установить ПО MSU VQMT. Далее необходимо выбрать метрику, с помощью которой, будет производиться сравнение двух видеофайлов (рис 3.4). Данный программный продукт поддерживает следующие метрики: PSNR (пиковое отношение сигнала к шуму), SSIM (индекс структурного сходства), MS-SSIM (индекс структурного сходства по 3 компонентам), stSSIM (пространственно-временной индекс структурного сходства), VQM (метрика оценки видео), Blocking (метрика оценки степени блочности), Blurring (метрика оценки степени размытости), DELTA (средняя разность цветовых компонентов в соответствующих точках изображения), MSE (среднеквадратическая ошибка), MSAD (усреднённая сумма абсолютных разностей), Brightness Flicking (метрика замера уровня мерцания между кадрами видеопоследовательности), Brightness Independent PSNR (метрика учета смещения яркости в кадре), Drop Frame Metric (метрика подсчета количества пропущенных кадров в последовательности), Noise Estimation (вычисление уровня шума для каждого кадра), Scene Change Detector (вычисление автоматического определения моментов смены сцены в последовательности кадров).

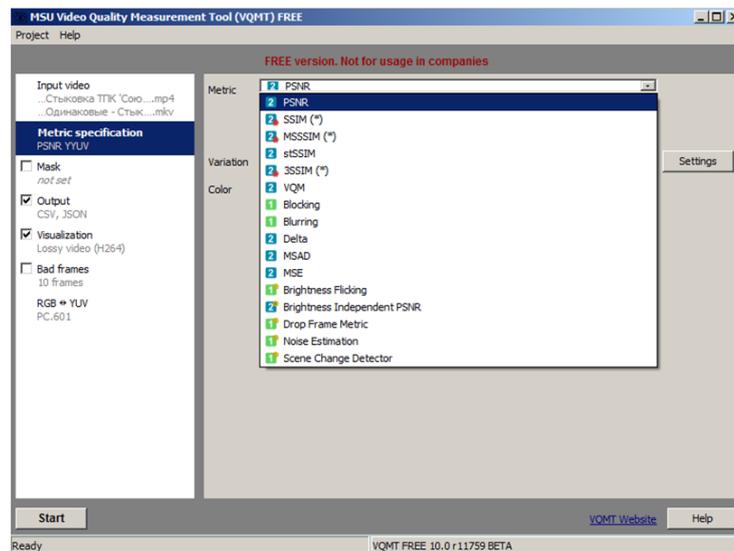


Рисунок 3.4. Выбор метрики тестирования

Далее необходимо выбрать исходный видеофайл и видеофайл, полученный при передаче от источника к получателю видеосигнала, с использованием модели системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС (рис 3.5).

На рис. 3.10 показаны результаты тестирования двух видеофайлов, эталонного и сжатого при использовании высоких коэффициентов сжатия с помощью метрики VQM.

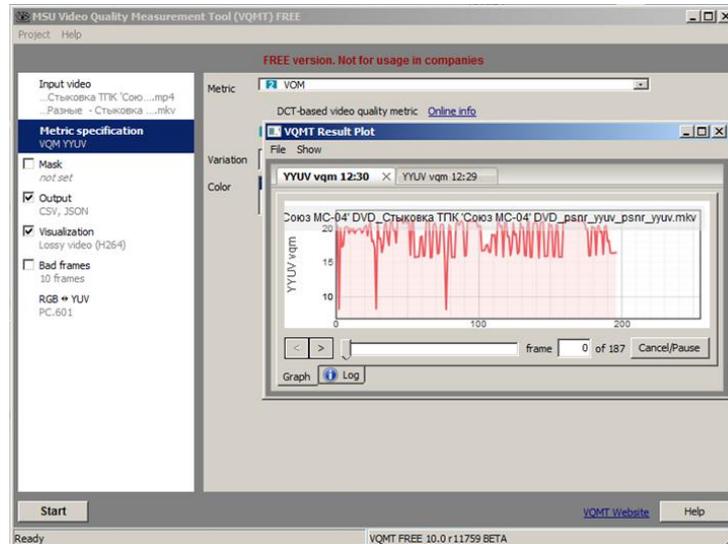


Рисунок 3.10. Пример работы оценки качества метрикой VQM

На рис. 3.11 показаны результаты тестирования двух видеофайлов при использовании метрики Blocking.

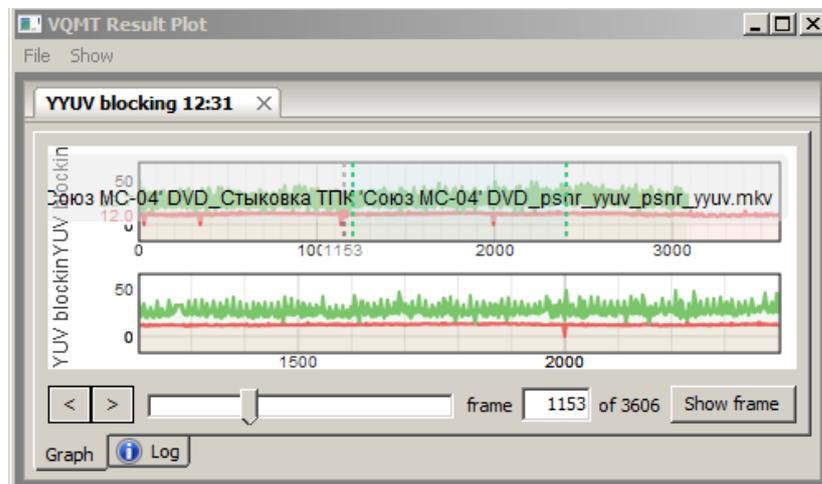


Рисунок 3.11. Пример работы оценки качества метрикой Blocking

3.2 Реализация модели системы мониторинга ТВ систем на уровне сжатия и распространения

Для реализации системы мониторинга рассматривались различные программные продукты, характеристики которых приведены в таблице 3.3.

Nagios – система мониторинга, позволяющая проводить контроль состояния серверов, сервисов и служб, оповещения в случае возникновения неисправностей, полностью бесплатный продукт. На рис. 3.12 показан веб-интерфейс системы мониторинга на базе ПО Nagios.

Таблица 3.3. Сравнение систем мониторинга

Название	Автоматическое обнаружение	Поддержка SNMP	Внешние скрипты	Карты сети
Nagios	Через плагин	Через плагин	Да	Динамические и настраиваемые
PRTG	Да	Да	Да	Да
Zabbix	Да	Да	Да	Да

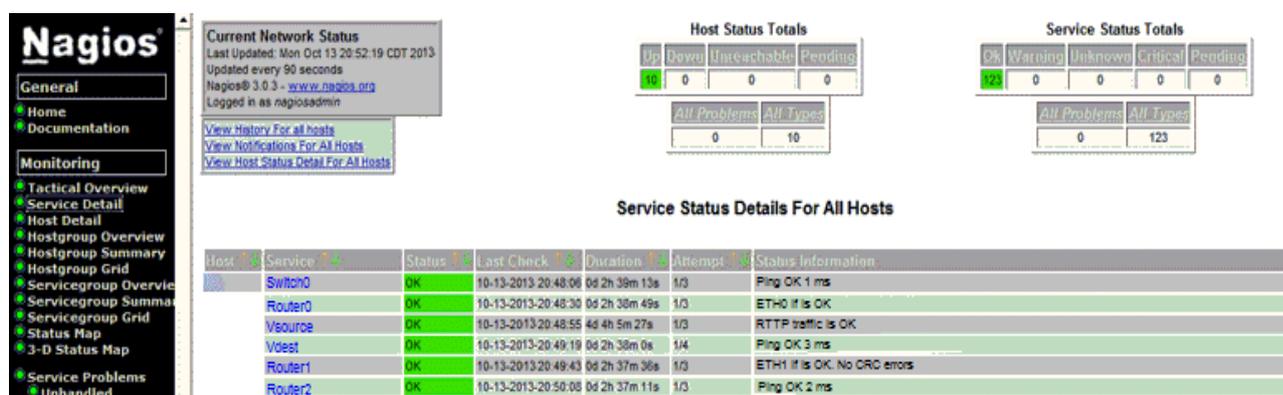


Рисунок 3.12. Веб-интерфейс системы мониторинга Nagios

PRTG — коммерческий продукт, предназначенный для мониторинга серверов и сетевых устройств по протоколам SNMP и WMI.

Zabbix — программа мониторинга, позволяющая проводить мониторинг многочисленных параметров сети, ПО поставляется бесплатно. На рис. 3.13 показан веб-интерфейс системы мониторинга на базе ПО Zabbix.

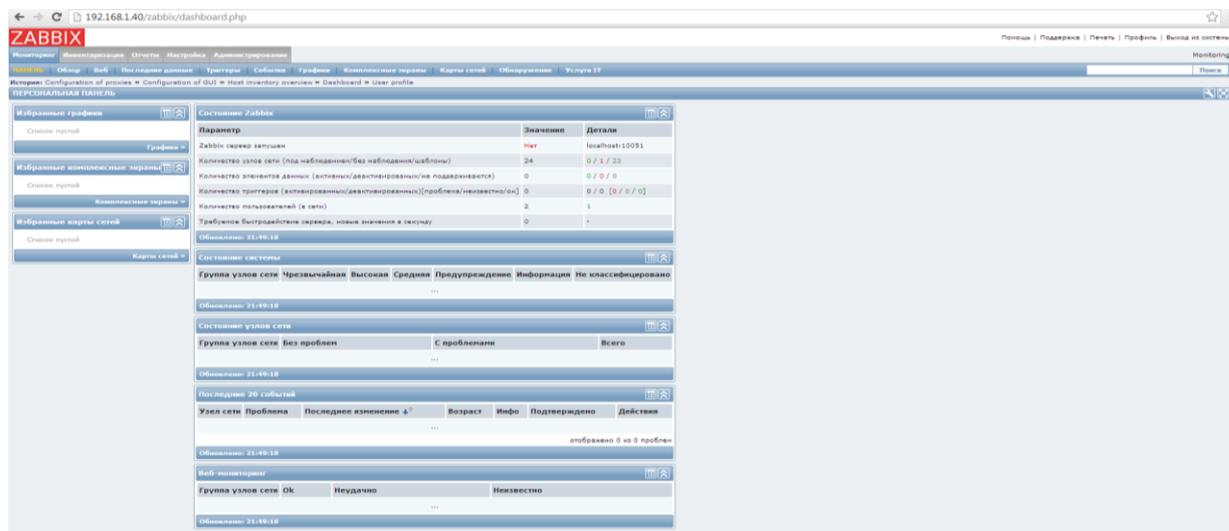


Рисунок 3.13. Веб-интерфейс системы мониторинга на базе ПО Zabbix

В результате проведенного анализа было выбрано ПО PRTG, в связи с тем, что система проста в настройке и установке. А так же обладает большим набором способов мониторинга различных сетевых устройств и серверов.

Для реализации модели системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры необходимо установить и настроить ПО PRTG. Необходимо настроить параметры входа на сетевые устройства по протоколу SNMP, указывая версию протокола и имя SNMP сообщества. Данные настройки можно выполнить как на самом верхнем уровне, так и индивидуально для каждого добавляемого устройства. На рис. 3.14 показан процесс настройки версии протокола SNMP и SNMP сообщества.

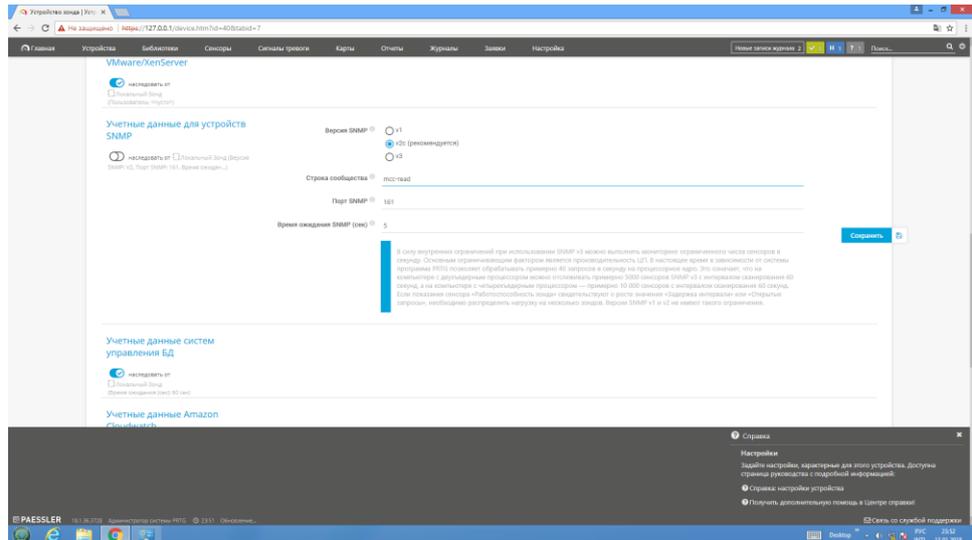


Рисунок 3.14. Настройка протокола SNMP через WEB интерфейс

Аналогичная настройка может быть выполнена через консоль администрирования. Настройки версии протокола SNMP и SNMP сообщества (рис 3.15).

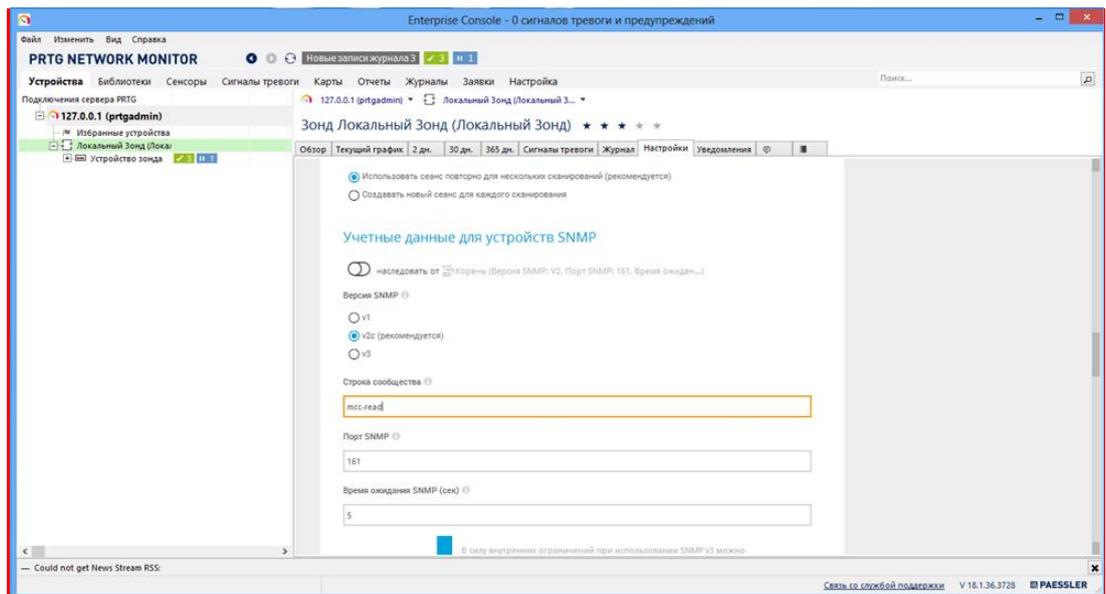


Рисунок 3.15. Настройка протокола SNMP через консоль администрирования

Далее необходимо настроить имена и пароли для подключения к серверам. Параметр также может быть общим и индивидуальным для каждого добавляемого устройства.

Следующим шагом является добавление устройств – объектов системы мониторинга. Процесс добавления коммутатора SW2 показан на рис. 3.16 и 3.17.

Для этого необходимо выбрать пункт добавить устройство, указать его имя и IP адрес и при необходимости указать параметры SNMP .

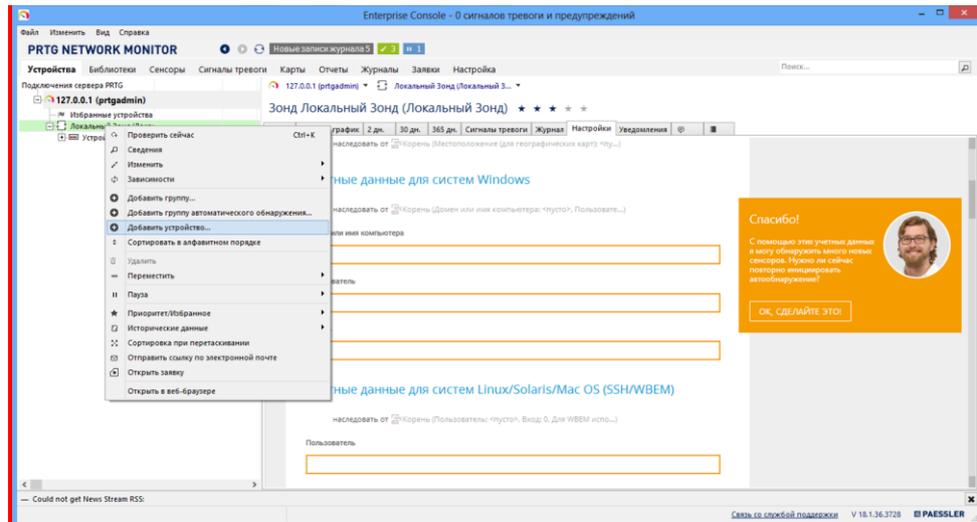


Рисунок 3.16. Добавление устройства в систему мониторинга PRTG.

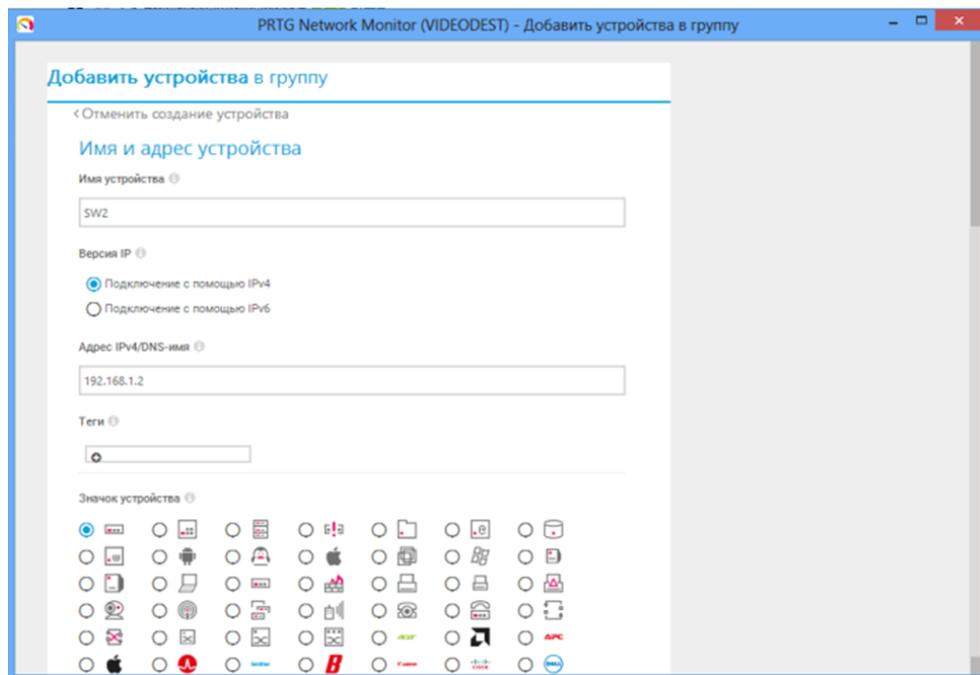


Рисунок 3.17. Добавление устройства в систему мониторинга PRTG.

Этап 2. Ввод имени и IP адреса

3.3 Конфигурирование сенсоров системы мониторинга ТВ систем на уровне компрессии и распространения

После того как в систему добавлены все необходимые объекты мониторинга и настроены параметры подключения SNMP или имена пользователей и пароли, можно переходить к настройке сенсоров, т.е. процессу получения с устройства параметров и сравнения их с целевыми значениями, либо сохранения истории значений и их графического отображения. Данный процесс может выполняться несколькими различными способами. Для определенного телекоммуникационного оборудования и операционных систем есть готовые наборы сенсоров. На рис. 3.18-3.20 показан процесс запуска автоматического конфигурирования сенсоров на коммутаторе SW2 с использованием готового шаблона «Устройство Cisco».

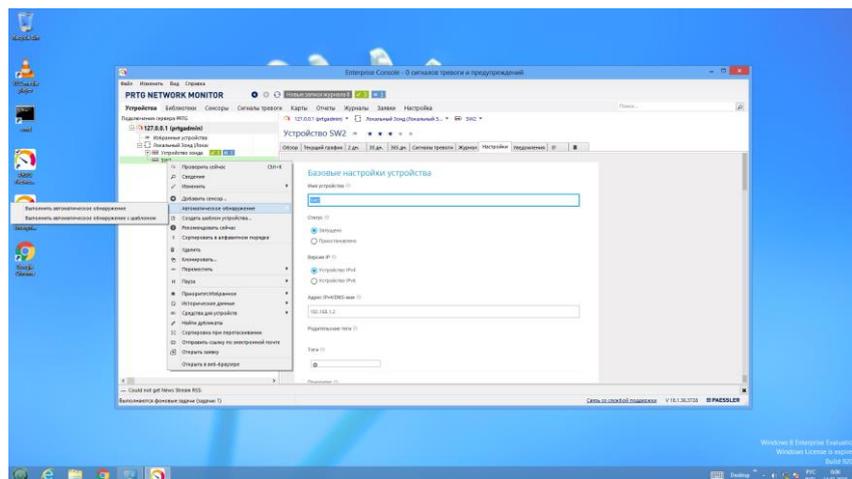


Рисунок 3.18. Запуск процесса автоматического конфигурирования сенсоров на коммутаторе SW2. Этап 1

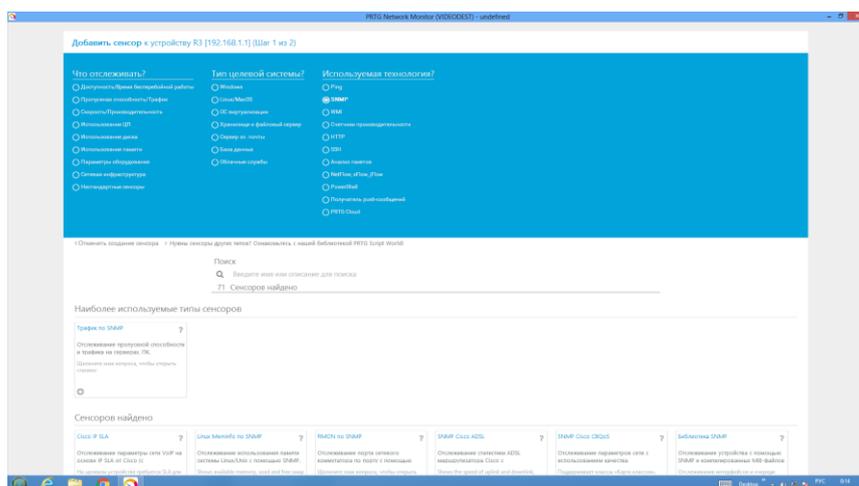


Рисунок 3.19. Запуск процесса автоматического конфигурирования сенсоров на коммутаторе SW2. Этап 2. Выбор технологии опроса устройства

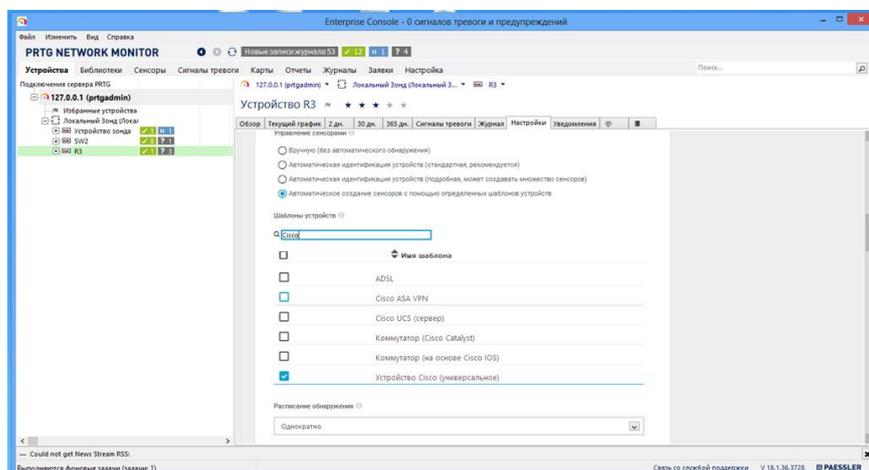


Рисунок 3.20. Запуск процесса автоматического конфигурирования сенсоров на коммутаторе SW2. Этап 3. Выбор готового шаблона «Устройство Cisco»

После того как все сенсоры добавлены процесс мониторинга и сохранения истории значений запускается автоматически. Следует определить, все ли добавленные сенсоры необходимы в системе, при необходимости удалить лишние. При необходимости изменить интервалы опроса сенсоров и пороги перехода в состояние «Предупреждение» и «Тревога». А также изменить названия сенсоров для более наглядного отображения. На рис. 3.21 показана работа сенсора учета трафика на коммутаторе SW2.

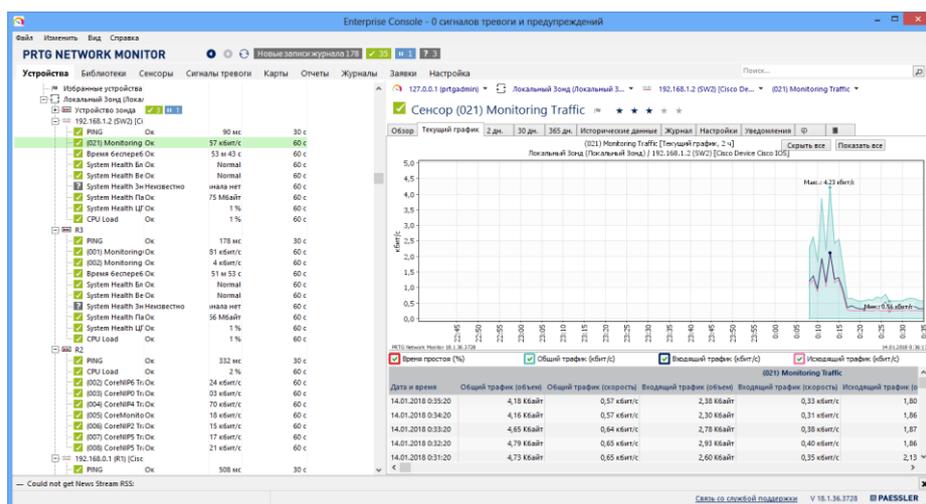


Рисунок 3.21. Учет трафика на интерфейсе коммутатора SW2

При возникновении сбоев в работе сетевой инфраструктуры и серверов, а так же превышении пороговых значений настроенных на сенсорах, сенсор перейдет в состояние «Предупреждение», а при превышении нескольких интервалов опроса в состояние «Тревога». Текущее состояние сенсоров может быть просмотрено в нескольких местах. В консоли администрирования это закладки «Устройства», «Сенсоры», «Сигналы тревоги» и «Журналы». На рис. 3.22 показано окно «Журналы» с сработавшими сенсорами тревоги. Недоступны устройства SW1 и R1.

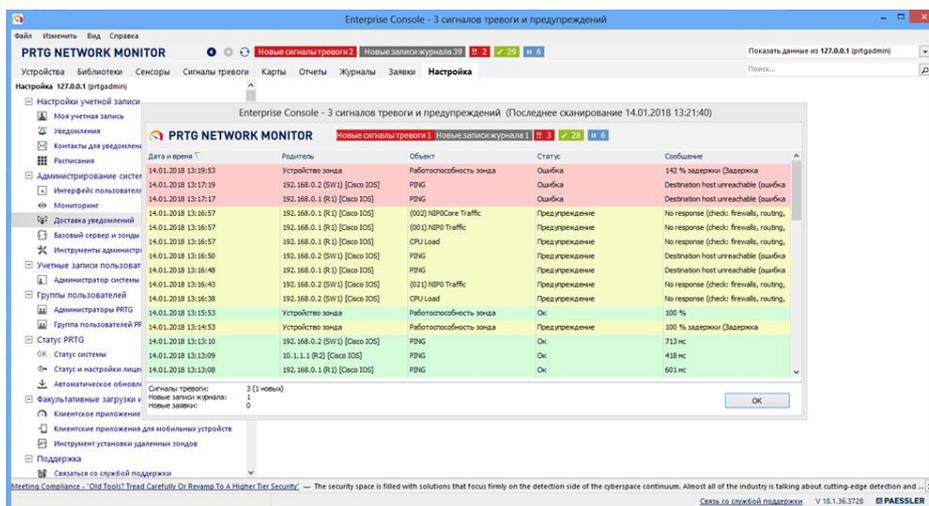


Рисунок 3.22. Сигнал «Тревога». Недоступны устройства SW1 и R1

Так же к системе мониторинга необходимо добавить все используемые сервера. Это позволяет производить контроль ключевых параметров системы,

таких как: загрузка центрального процессора, память, загрузка сетевых интерфейсов, доступность системы по сети (рис 3.23)

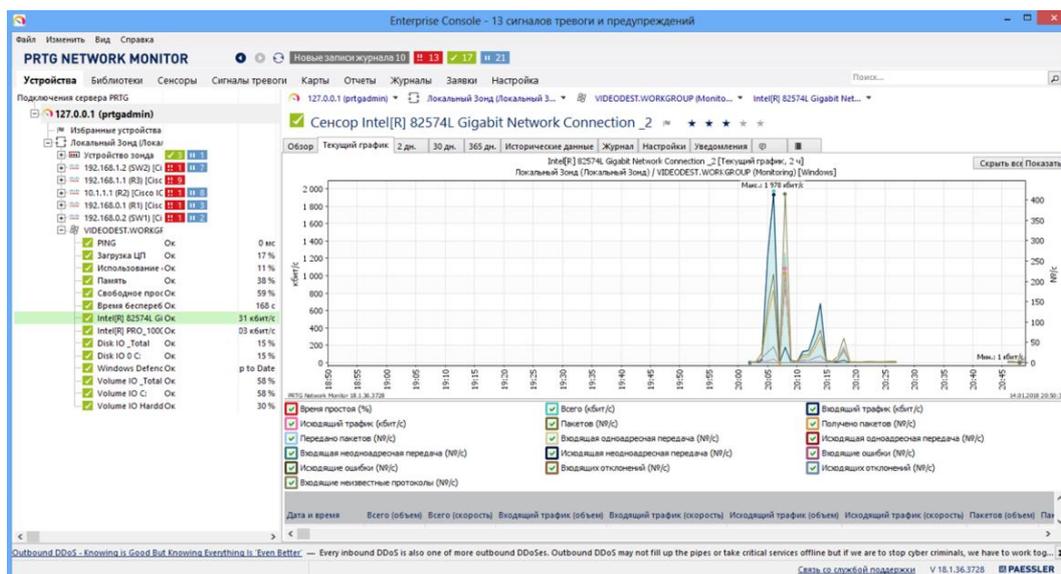


Рис. 3.23. Учет трафика на интерфейсе сервера мониторинга

3.4 Конфигурирование системы оповещения

Для информирования операторов системы мониторинга могут использоваться следующие способы:

- Вывод цветowego сообщения об ошибке на мониторы управления (рис. 3.24);
- Вывод звукового сигнала в систему звукового оповещения;
- Отправка e-mail сообщения оператору с сообщением о параметрах неисправности;
- Отправка SMS сообщения для информирования оператора с кратким описанием неисправности.

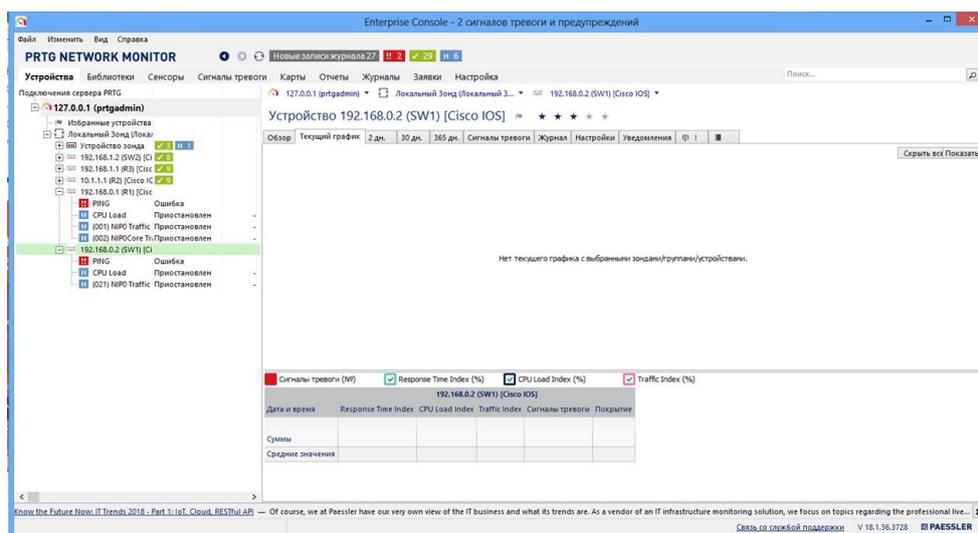


Рисунок 3.24. Отображение сигнала «Тревога» в консоли администрирования на вкладке «Устройства»

Для вывода графического отображения работы сенсора используются 4 основные состояния, отображаемые следующими цветами:

- **зеленый** – сенсор работает нормально. Параметры в допустимом диапазоне значений.
- **желтый** – предупреждение. Значения вышли из допустимого диапазона. Для ряда сенсоров это состояние может быть промежуточным, т.к. необходимо повторить опрос сенсора несколько раз, т.е. должно пройти больше времени.
- **красный** – тревога. Состояние ошибки сенсора, сенсор не работает или не может получить данные. Требуется оперативное вмешательство оператора.
- **синий** – приостановлено. Работа сенсора приостановлена в ручном или автоматическом режиме. В ручном режиме данная операция может быть выполнена, если например, производится плановое обслуживания оборудования и вывод сообщения об ошибке будет «засорять» систему мониторинга. В автоматическом режиме работа сенсора приостанавливается, если родительское устройство или сенсор находится в состоянии ошибки. Это делается для того, что бы не перегружать панель отображения большим числом ошибок. Зависимость от родительского устройства или сенсора может быть изменена в настройках сенсора.

На рис. 3.25 показан процесс настройки e-mail и sms оповещения. Если в системе происходит сбой и сенсор находится в состоянии ошибка более 60 сек., должно быть отправлено e-mail сообщение. Когда сенсор находится в состоянии ошибка больше 300 сек., должно быть отправлено sms сообщение. Если после срабатывания уведомления условия изменились, должно быть отправлено sms сообщение. На рис. 3.26 показан пример e-mail сообщения об ошибке при работе системы.

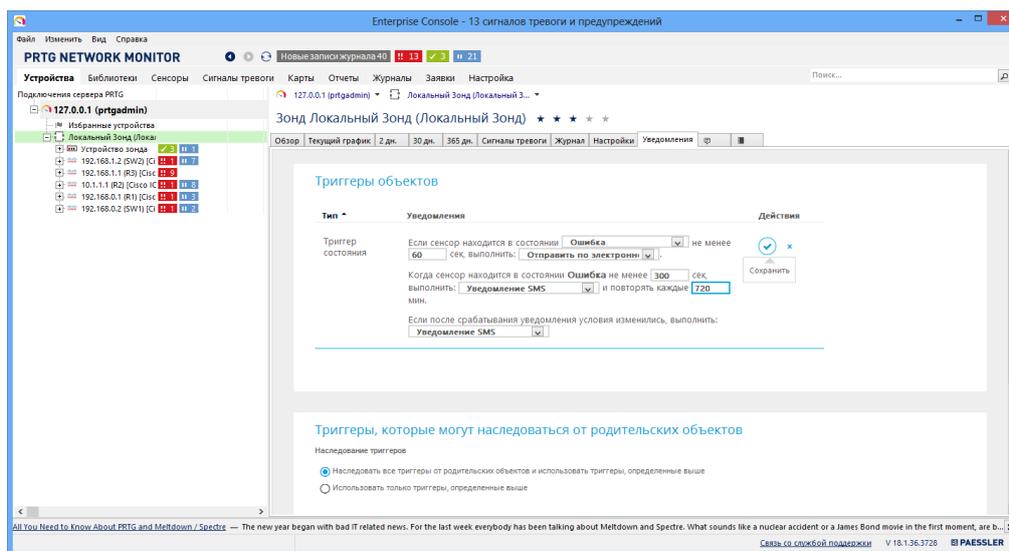


Рисунок 3.25. Настройка системы e-mail и sms оповещения



[PRTG Network Monitor (VIDEODEST)] 192.168.1.1 (R3) [Cisco Device Cisco IOS] System Health Память (Работоспособность системы устройстваSNMP Cisco) Ошибка (No response (check: firewalls, routing, snmp settings of device, IPs, SNMP version, community, passwords etc) (ошибка SN...)
 "PRTG Network Monitor" <monitoring.mcc@mail.ru> 
 Кому: monitoring.mcc@mail.ru
 сегодня, 19:16 ! Важное



Сенсор System Health Память (Работоспособность системы устройства SNMP Cisco) ***

Локальный > Локальный > 192.168.1.1 (R3)
 Зонд Зонд > [Cisco Device
 Cisco
 IOS] (192.168.1.1)

Новый статус в 14.01.2018 20:16:00 (Russian Standard Time):							
Ошибка							
Последнее сообщение:							
No response (check: firewalls, routing, snmp settings of device, IPs, SNMP version, community, passwords etc) (ошибка SNMP № -2003)							
Последнее оценивание:	Последний "Ок":	Последняя "Ошибка":	Время безотбойной работы:	Время простоя:	Покрытие: -<b title="1 ч 54 м of 19 ч 51 м since (Объект не найден)">10%	Тип сенсора:	Интервал:
47 с	7 ч 44 м	47 с	54,9401%	45,0599%		Работоспособность системы устройства SNMP Cisco	60 с

Рисунок 3.26. Пример e-mail сообщения об ошибке при работе системы

Для настройки системы отправки SMS сообщения и голосовых сообщений, помимо настройки системы мониторинга, были использованы функциональные возможности оператора DEVINO Telecom. Данный сервис предлагает оказание комплексных услуг и решения на основе мобильных коммуникаций, создание интерфейса программирования приложений для взаимодействия системы мониторинга, посредством отправки predefined управляющих запросов для формирования текстовых или голосовых сообщений. После получения управляющей команды оператор берет на себя обязательства по доставке сообщения абоненту или группе абонентов. На рис. 3.27. показан пример sms сообщения об ошибке при работе системы мониторинга.

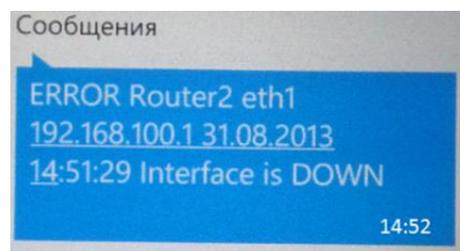


Рисунок 3.27. Пример sms сообщения об ошибке при работе системы мониторинга

3.5 Моделирование аварийных нештатных ситуаций

В системе приема ЦТВИ в НКУ РС МКС, падение качества получаемого изображения может быть связано со следующими элементами системы:

- искажение сигнала на этапе формирования ТВ изображения;
- искажение сигнала на этапе преобразования и сжатия ТВ изображения;
- искажение сигнала в результате ошибок в канале передачи данных.

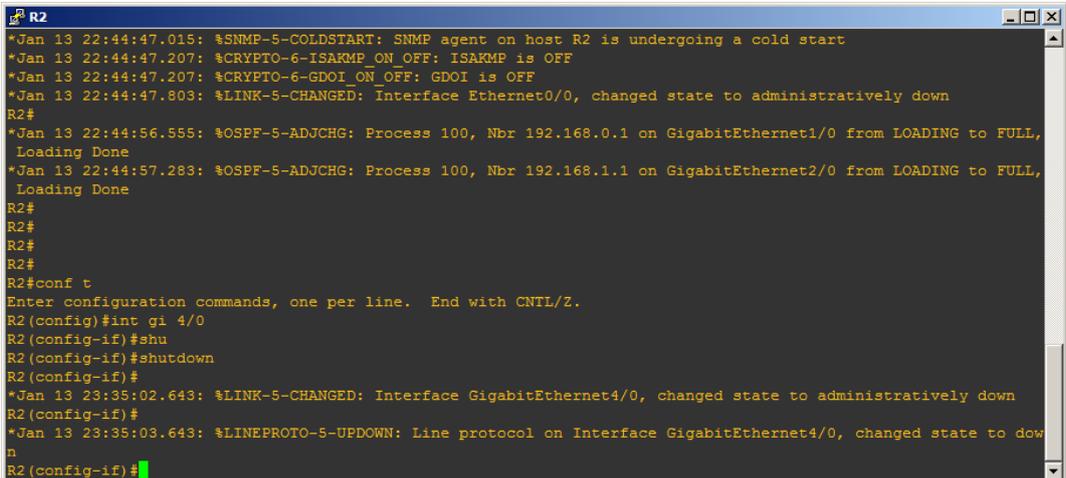
Таким образом, модель тестирования отказов в системе ЦТВИ в НКУ РС МКС включает в себя моделирование следующих аварийных нештатных ситуаций:

1. обрыв каналов связи;
2. отключение оборудования;

3. перегрузка канала трафиком;
4. моделирование потери пакетов при передаче видеосигнала;
5. наложение помех разного вида на источник сигнала.

Обрыв каналов связи – отключение кабеля или перевод одного из интерфейсов на оборудовании канала передачи данных в выключенное состояние. Отключение кабеля может быть смоделировано путем внесения в программную среду GNS3 изменений - программное удаление кабелей между интерфейсами устройств. Для восстановления нормального функционирования схемы удаленную связь необходимо создать заново. Либо программно, путем перевода интерфейса устройства в выключенное состояние. Для этого нужно перейти в режим конфигурации необходимого интерфейса и ввести команду «Shutdown». Интерфейс перейдет в состояние «administratively down», трафик через интерфейс передаваться не будет. Для включения интерфейса нужно в конфигурации интерфейса ввести команду «NO Shutdown».

На рис. 3.28 представлен процесс отключения оборудования (интерфейс Gi 4/0 маршрутизатора R2).



```

R2
*Jan 13 22:44:47.015: %SNMP-5-COLDSTART: SNMP agent on host R2 is undergoing a cold start
*Jan 13 22:44:47.207: %CRYPTO-6-ISAKMP_ON_OFF: ISAKMP is OFF
*Jan 13 22:44:47.207: %CRYPTO-6-GDOI_ON_OFF: GDOI is OFF
*Jan 13 22:44:47.803: %LINK-5-CHANGED: Interface Ethernet0/0, changed state to administratively down
R2#
*Jan 13 22:44:56.555: %OSPF-5-ADJCHG: Process 100, Nbr 192.168.0.1 on GigabitEthernet1/0 from LOADING to FULL, Loading Done
*Jan 13 22:44:57.283: %OSPF-5-ADJCHG: Process 100, Nbr 192.168.1.1 on GigabitEthernet2/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R2#
R2#
R2#
R2#
R2#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R2(config)#int gi 4/0
R2(config-if)#shu
R2(config-if)#shutdown
R2(config-if)#
*Jan 13 23:35:02.643: %LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet4/0, changed state to administratively down
R2(config-if)#
*Jan 13 23:35:03.643: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet4/0, changed state to down
R2(config-if)#

```

Рисунок 3.28. Отключение интерфейса Gi 4/0 маршрутизатора R2

В результате на экране системы мониторинга появится сообщение о предупреждении об ошибке (рис. 3.29). Затем выводится сообщение об ошибке (рис. 3.30).

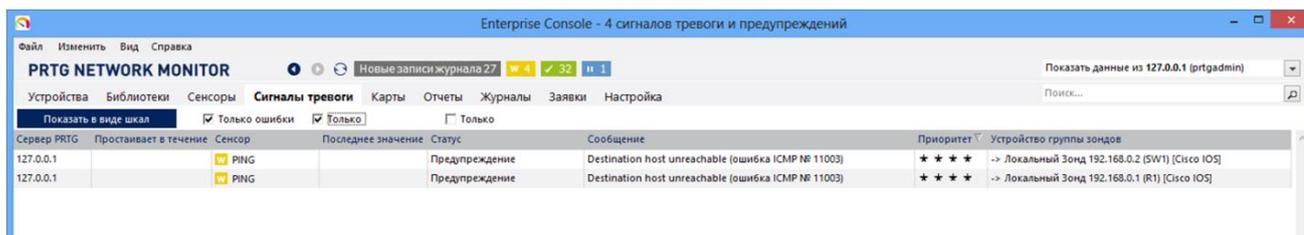


Рисунок 3.29. Сообщения о предупреждении об ошибке

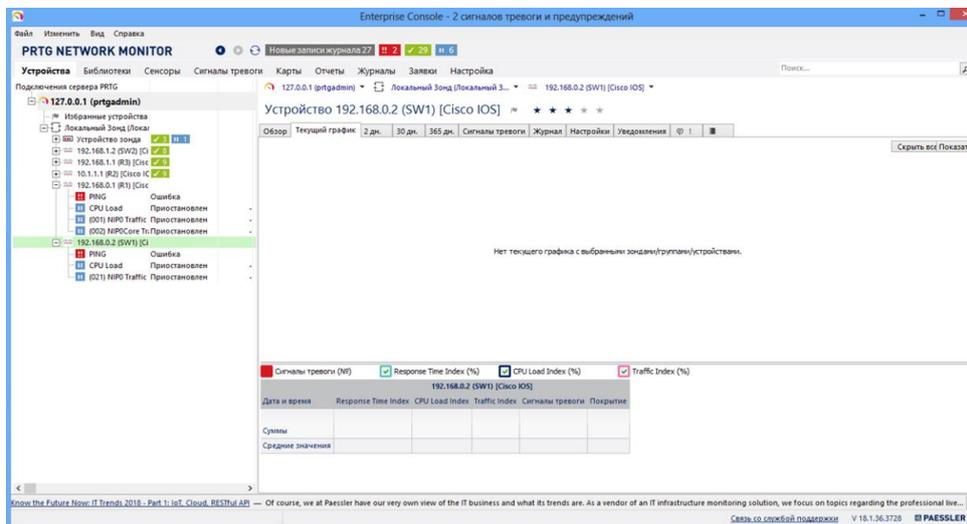


Рисунок 3.30. Сообщение об ошибке

Когда все сенсоры системы в норме, то есть не показывают ошибок, они отображаются зеленым цветом в системе вывода изображений на экран. Если произошла ошибка, то программа мониторинга информирует оператора mail и смс сообщением об ошибке сообщения об ошибке.

Отключение оборудования – физическое отключение кабелей питания или программная перезагрузка оборудования канала передачи данных. Для этого в программной среде GNS3 необходимо выбрать требуемое оборудование, щелкнуть правой клавишей и выбрать пункт Stop для выключения или Reload для перезагрузки оборудования с загрузкой последней сохраненной конфигурации (рис. 3.31).

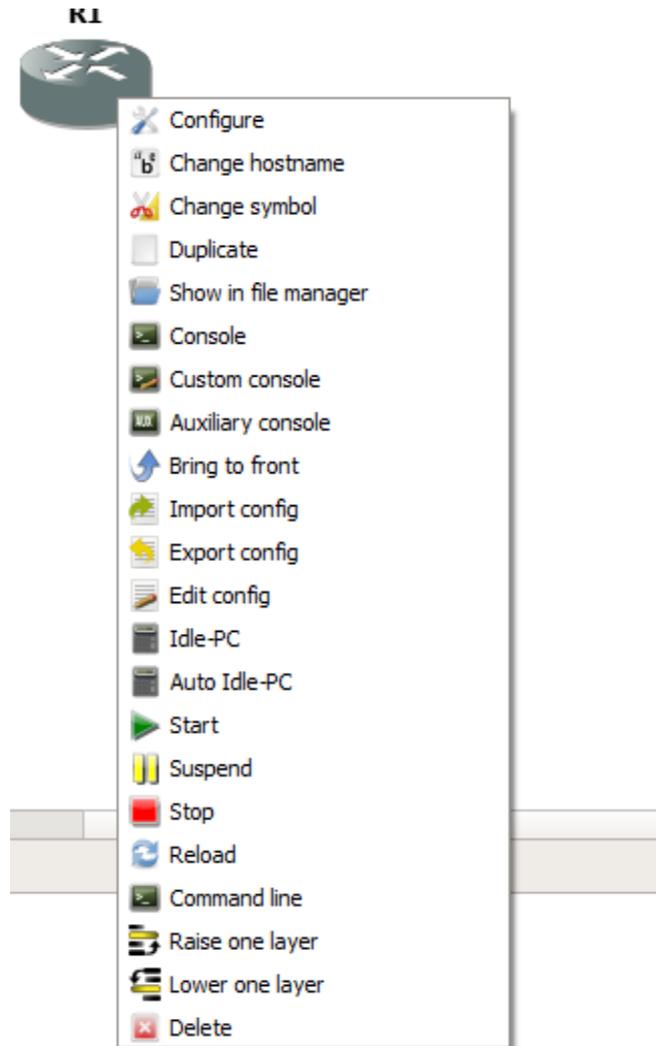


Рисунок 3.31. Пример выключения питания маршрутизатора.

Для программной перезагрузки оборудования в привилегированном режиме конфигурации необходимо выполнить команду *Reload*. Также можно выполнить отложенную перезагрузки «*Reload in 10*» (Перезагрузить устройство через 10 минут, время произвольно в минутах), *Reload at 23:30* (Перезагрузить устройство в 23:30).

Перегрузка канала трафиком – моделирование потоков трафика на уровне 50%, 75%, 100% от общей полосы канала передачи данных. В расчет берется сумма полезного трафика видеосигнала и паразитного трафика генерируемого программным путем, с использованием функционала ПО системы моделирования сети. Для перегрузки интерфейса трафиком использованы 2 разных подхода.

Первый – физическая генерация трафика, требующий определенную полосу пропускания, пропускная способность конкретного устройства

определяется типом используемого на нем интерфейса, например Fast Ethernet (100 Mbit/s), Gigabit Ethernet (1Gbit/s) и т.п. В свою очередь в зависимости от разрешения видекартинки и количества кадров, а также характеристик звука потребуется определенная полоса пропускания. Для видеопотока с разрешением 1920 на 1080 пикселей не менее 5Мбит/с, для видеопотока с разрешением 3840 на 2160 не менее 25Мбит/с.

Второе использование команды *rate-limit* для ограничения полосы пропускания необходимого интерфейса в необходимом нам направлении. Команда вводится в режиме конфигурации интерфейса. Например, команда ограничения полосы пропускания в исходящем направлении до 64 Кбит/с будет выглядеть следующим образом: *rate-limit output access-group 101 64000 12000 24000 conform-action transmit exceed-action drop*, где *access-group 101* – ссылка на *access-list 101*, т.е. на шаблон трафика, который необходимо ограничить (в том числе можно конкретный или весь трафик):

- *conform-action transmit* – условие передавать трафик, подпадающий под описание.
- *exceed-action drop* – условие отбрасывать (уничтожать) трафик превышающий лимит.

Потеря пакетов при передаче видеосигнала – рассогласование параметров дуплекса оборудования канала передачи данных. Т.е. конфигурация двух последовательно соединенных интерфейсов с разными параметрами дуплекса (*duplex full* и *duplex half* соответственно). По умолчанию устройства определяют скорость и дуплекс автоматически. Быстрое отключение и включение интерфейсов продолжительностью не более 1 секунды вручную или программным путем. Т.е. последовательное введение в режиме конфигурации необходимого интерфейса команд «*shutdown*» и «*no shutdown*».

Наложение помех разного вида на источник сигнала – использование программных способов смешивания. В видеоредакторе на эталонное изображение накладываем необходимую помеху. Для наложения помех использовалось программное обеспечение VEGAS Pro 16 (рис. 3.32).

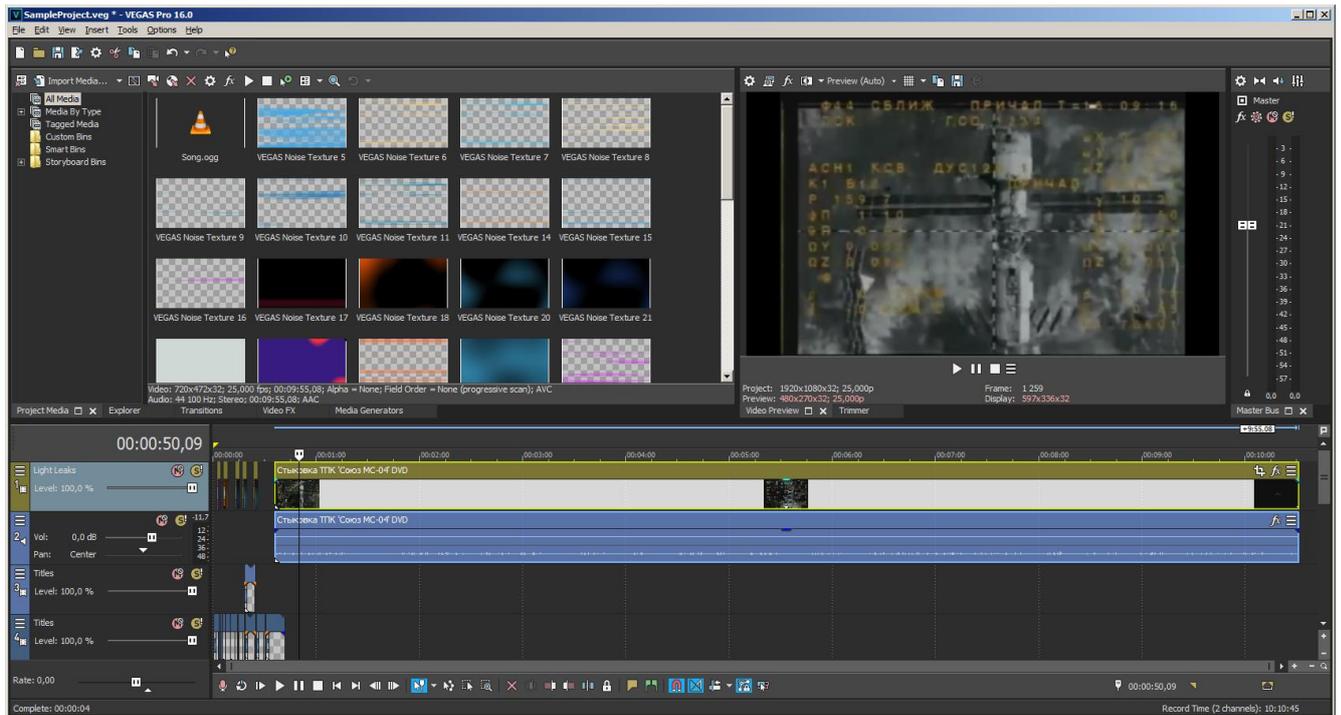


Рисунок 3.32. Пример наложения помех.

3.6 Выводы по третьей главе

В первой части третьей главы проведен анализ возможностей систем оценки качества ЦТВИ на уровне форматирования, для их использования при создании модели системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС. Представлен процесс реализации системы оценки качества ЦТВИ на уровне форматирования на базе ПО MSU VQMT. Описан процесс создания и конфигурирования системы.

Во второй части третьей главы проведен анализ возможностей систем для реализации мониторинга ТВ систем на уровне компрессии и распространения. При выборе ПО для реализации системы рассматривались следующие производители: Nagios, PRTG, Zabbix. В результате проведенного анализа было выбрано ПО PRTG, в связи с тем, что система обладает большим набором способов мониторинга различных сетевых устройств и серверов.

В третьей части третьей главы представлен процесс реализации системы мониторинга ТВ систем на уровне компрессии и распространения на базе ПО PRTG. Описан процесс создания и конфигурирования системы. Описан процесс

конфигурирования сенсоров системы мониторинга ТВ систем на уровне компрессии и распространения.

В четвертой части третьей главы описан процесс конфигурирования системы оповещения. Для информирования операторов системы мониторинга могут использоваться следующие способы: вывод цветового сообщения об ошибке на мониторы управления, отправка e-mail сообщения оператору с сообщением о параметрах неисправности, отправка SMS сообщения для информирования оператора с кратким описанием неисправности.

В пятой части третьей главы описан процесс тестирования системы мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС, которое производится моделированием нештатных ситуаций.

4. Методика многоуровневого мониторинга цифрового ТВ тракта в НКУ РС МКС

4.1 Концепция системы многоуровневого мониторинга цифрового ТВ тракта в НКУ РС МКС

Формирование ТВ сигнала состоит из следующих процессов: образование аналогового ТВ сигнала, цифровое кодирование, сжатие и передача по цифровым каналам связи [3,20].

Процесс оценки качества ТВ тракта в НКУ РС МКС необходимо разделить на три уровня: форматирования, сжатия и распределения. На рис. 4.1 приведена трехуровневую модель тестирования качества ЦТВИ в НКУ РС МКС [25-26,30].

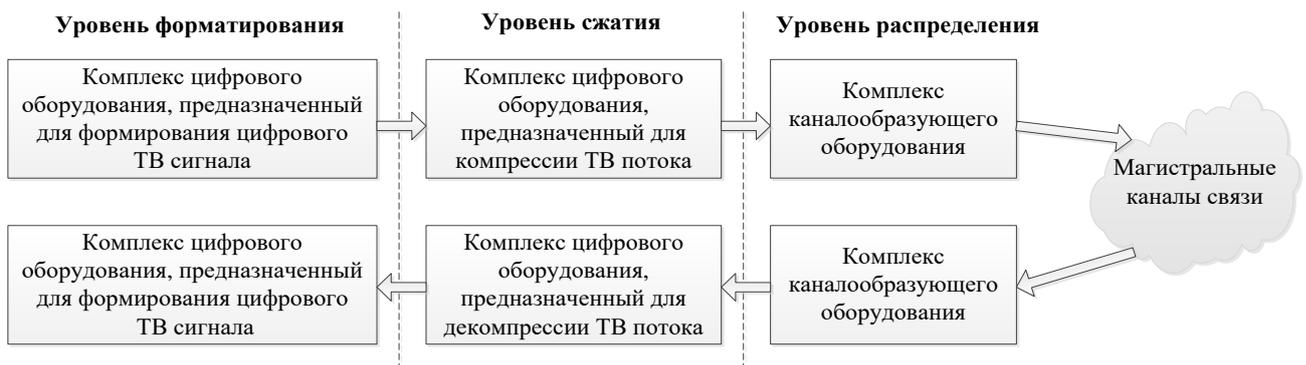


Рисунок 4.1. Модель системы многоуровневого тестирования качества ЦТВИ в НКУ РС МКС

Для реализации системы тестирования разработаны алгоритмы и методы контроля качества ТВ сигнала в соответствии с трехуровневой моделью. Жизненный цикл работы любого ТВ тракта состоит из этапа внедрения, опытной эксплуатации и вывода из эксплуатации. На этапе внедрения новых систем необходимо проводить полный анализ работоспособности всех составляющих систем. Необходимо выявить все возможные отклонения и недостатки, и провести корректировки настроек оборудования. Также при возникновении различных нештатных ситуаций в работе действующих систем, также необходимо проводить полное и всестороннее исследование, с целью выявления источника проблем.

Основной особенностью тестирования на данном этапе является, возможность проводить его с приостановкой реальных работ.

4.2 Методика анализа гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей в НКУ РС МКС

Методика тестирования гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей, используется для определения работоспособности ТВ тракта на уровне распределения. На этом уровне необходимо выявить наличие проблем качества в используемых каналах передачи ТВИ. Стоит отметить, что информация поступает в ЦУП по наземным и спутниковым каналам связи, с использованием различных технологий их организации. На разных направлениях в НКУ РС МКС задействованы каналы связи, использующие разные технология организации соединения, такие как коммутация каналов и коммутация пакетов. Эти технологии имеют принципиальное отличие. В первом случае – образуется непрерывный физический канал, во втором сообщение разбивается на отдельные пакеты, которые передаются по сети [2, 19,51].

Методика тестирования качества PDH каналов в НКУ РС МКС

На рис. 4.2 показан пример организации канала связи, использующего технологию PDH (Плеззиохронная цифровая иерархия) для организации соединения через несколько транзитных узлов. Данный метод основан на временном разделении канала. К технологиям, использующим такой режим относятся: ISDN, E1, T1 и J1.

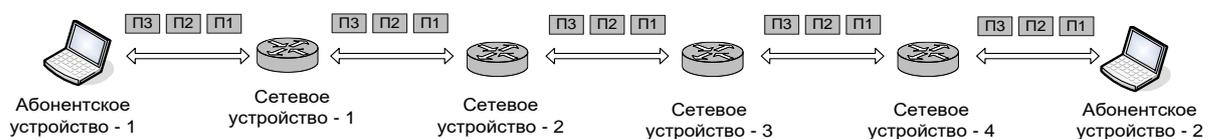


Рисунок 4.2. Пример организации PDH каналов

ISDN - цифровые сети с интегральными услугами. Построение сетей ISDN базируется на рекомендациях ITU-T I.122 [50], а также на рекомендациях ITU-T I.430 и I.431 для 1 (физического) уровня модели OSI [52-53], для 2 (канального) уровня модели OSI на рекомендациях ITU-T Q.921/I.441 [54], для 3 (сетевого) уровня модели OSI на рекомендациях ITU-T Q.931/I.451 [55]. Данная технология организации каналов связи, используется в НКУ РС МКС для проведения сеансов видеоконференцсвязи.

T1 и J1 – это цифровые потоки передачи данных, соответствующие первичному уровню американского и японского стандарта иерархии PDH. В НКУ РС МКС не используются.

E1 – это цифровой поток передачи данных, соответствующий первичному уровню европейского стандарта иерархии PDH, основы построения, которого описаны в стандарте ITU-T G.703 [15,47]. Поток E1 имеет скорость передачи данных 2048 Кбит/с. Структура E1 состоит из 32 канальных интервалов, 30 из них используются для передачи полезной нагрузки, а 2 для передачи служебной информации. Данная технология, используется в НКУ РС МКС для организации каналов связи с НИП Улан-Удэ и НИП Уссурийск.

Основным достоинством при использовании данной технологии является гарантия качества. К сожалению, данная технология имеет целый ряд недостатков, главными из которых являются:

- очень высокая стоимость организации и эксплуатации каналов E1;
- отсутствие возможности динамического перестроения каналов передачи данных при сбоях;
- необходимость конвертации данных изначально передающихся по сетям с коммутацией пакетов, в сети коммутации каналов и обратно, что приводит к значительному увеличению размеров передаваемых файлов (до 40%);

На рис. 4.3 представлен алгоритм контроля качества PDH каналов, который используется при внедрении новых цифровых телевизионных систем в НКУ РС МКС [24, 27].

Основные параметры, которые необходимо контролировать:

- ES - секунда с ошибками. Один секундный интервал, в котором один или несколько блоков с ошибками.
- SES - секунда со значительным количеством ошибок. Один секундный интервал, в котором более 30% утерянных или ошибочных пакетов.

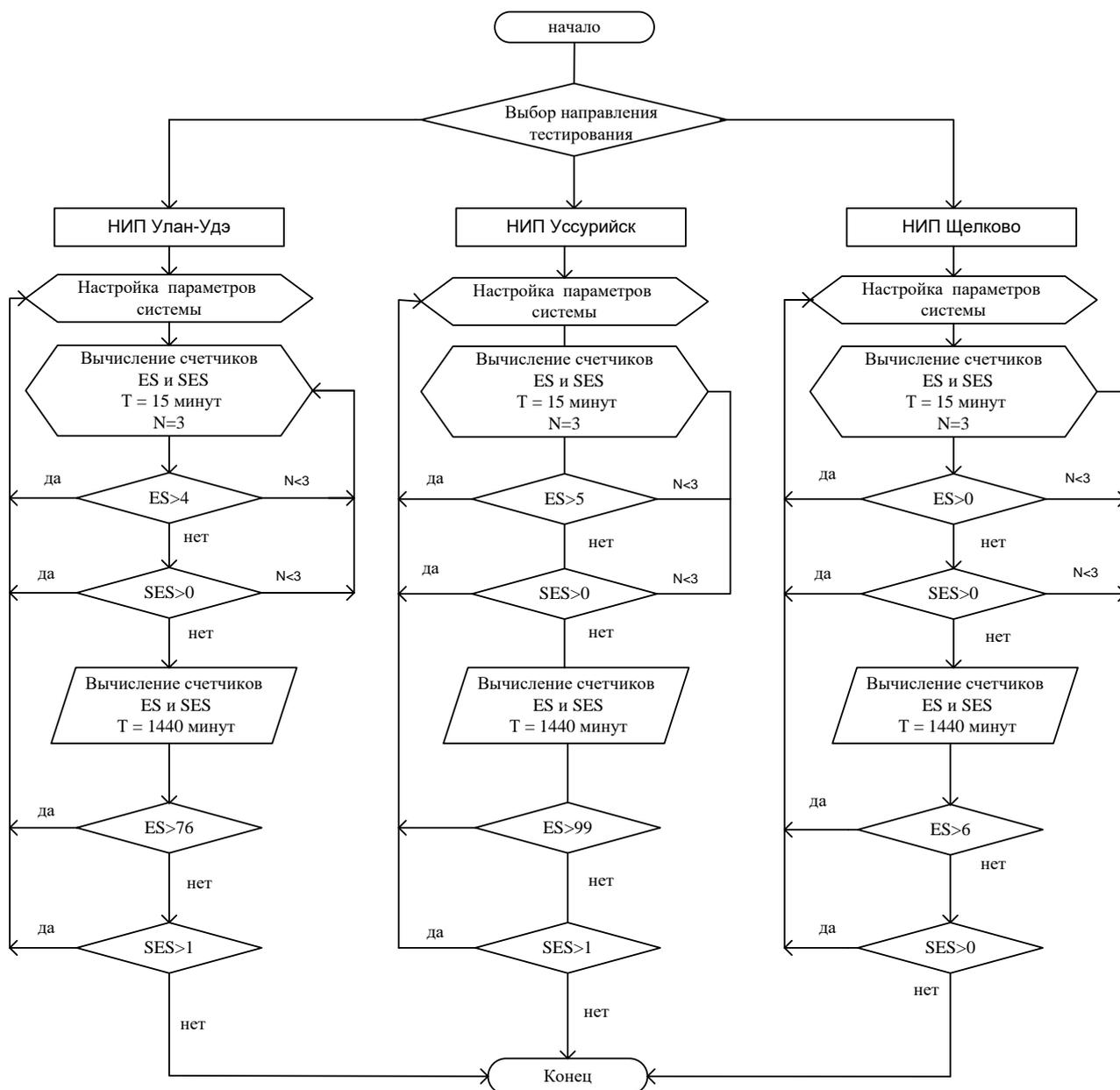


Рисунок 4.3. Алгоритм контроля качества PDN каналов, используемый при внедрении новых цифровых телевизионных систем в НКУ РС МКС

Процедура тестирования проходит в два этапа. Измерения проводятся по схеме, показанной на рис. 4.4.

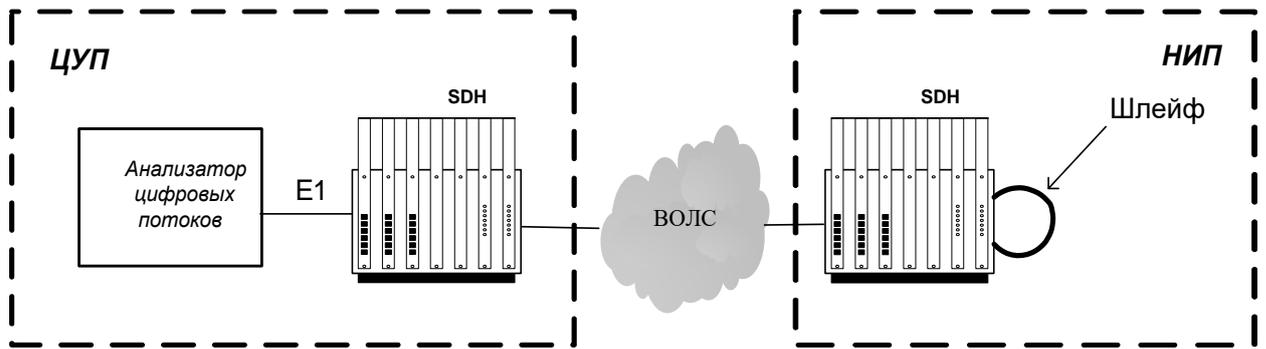


Рисунок 4.4. Схема тестирования каналов PDH

На первом этапе проводится тестирование тракта на наличие критических ошибок ES, SES. Испытания проводятся 3 раза, в течение 15 мин. При этом должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрики ES и SES не должны быть выше 0;
- для НИП Улан-Удэ метрика ES не должна быть выше 4, а метрика SES не должна быть равна 0;
- для НИП Уссурийск метрика ES не должна быть выше 5, а метрика SES не должна быть равна 0.

Если на первом этапе тестирование прошло успешно, выполняется второй этап тестирования, который проводится в течение суток. При этом должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика ES не должна быть выше 6, а метрика SES не должна быть равна 0;
- для НИП Улан-Удэ метрика ES не должна превышать 76, а метрика SES не должна быть выше 1;
- для НИП Уссурийск метрика ES не должна превышать 99, а метрика SES не должна быть выше 1.

В результате тестирования выводятся параметры, показанные на рис. 4.5.

```

[Rx 1 M.2100 OOS Results]
Verdict                               Accepted
ES                                     0
ESR                                    0.0000000
SES                                     0
SESR                                    0.0000000
UAS                                     0

[Time Results]
Time                                   11:34:30 AM
Date                                   12/19/2007
Elapsed Time                           00:15:00
Time Remaining                         00:00:00
% Complete                             100

```

Рисунок 4.5. Результаты тестирования каналов E1

Методика тестирования качества IP каналов в НКУ РС МКС

Принцип коммутации пакетов основан на разделении передаваемой по сети информации на отдельные независимые части (пакеты) [15]. Пакеты могут иметь различную длину от 46 до 1518 байт. Каждый пакет обрамляется служебным заголовком, в котором указывается информация, необходимая для доставки пакета получателю.

В сетях с коммутацией пакетов применяется два класса механизмов передачи пакетов: дейтаграммная передача (например Ethernet, TCP/IP и IPX/SPX) и виртуальные каналы (сети X.25, Frame Relay и ATM). Далее будут рассматриваться только технологии Ethernet и TCP/IP, как мировые доминирующие технологии при построении сетей передачи данных. Именно они используются в НКУ РС МКС. Построение таких сетей базируется на рекомендациях стандарта IEEE 802.3 [38,65].

На рис. 4.6 показан пример организации канала связи, использующего IP технологию. Данный способ основан на том, что все пакеты последовательно обрабатываются независимо друг от друга. Сетевые устройства (СУ) имеют внутреннюю буферную память для временного хранения пакетов. Если выходной порт СУ в момент принятия пакета занят передачей другого пакета, он находится

некоторое время в очереди пакетов в буферной памяти выходного порта, а когда до него дойдет очередь, он передается следующему СУ.

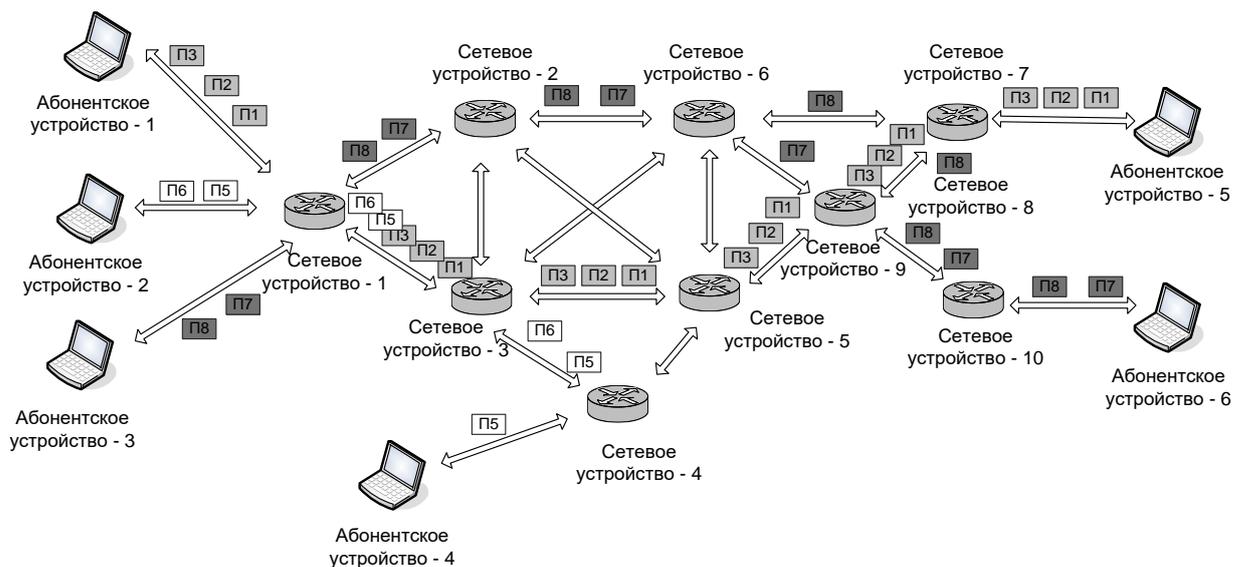


Рисунок 4.6. Пример организации передачи данных в IP сетях

В таблице маршрутизации для одного и того же адреса назначения может содержаться несколько записей, указывающих, соответственно, на различные адреса следующего маршрутизатора. Такой подход используется для повышения производительности и надежности сети. В примере на рис. 4.6 пакеты, поступающие в маршрутизатор СУ-6, которые следуют от АУ-3 к АУ-6 в целях балансировки нагрузки распределяются между двумя следующими маршрутизаторами — СУ-7 и СУ-8, что снижает нагрузку на каждый из них, а значит, уменьшает очереди и ускоряет доставку.

Выбор следующего СУ происходит только на основании адреса узла назначения, содержащегося в заголовке пакета. Решение о том, какому узлу передать пришедший пакет, принимается на основе таблицы, содержащей набор пространства адресов назначения и адресную информацию, однозначно определяющую следующий узел.

Первые реализации сети Ethernet на основе коаксиального кабеля или витой пары с использованием повторителей использовали совместный доступ к сегменту сети. При повышении количества устройств и длины кабельных трасс, в сегменте могли происходить факты одновременной передачи информации — коллизии, что вносило дополнительные задержки и снижало надежность передачи

информации. Такие участки сети называются доменами коллизий. Развитие технологии и снижение стоимости коммутаторов сегодня привело к практически полному исключению коллизий в сети за счет использования двунаправленной схемы приема-передачи (Full Duplex), т.е. вырождению домена коллизий до пары коммутатор – устройство с отдельными парами приема и передачи данных.

При передаче ТВИ в реальном масштабе времени по каналам IP необходимо сохранить временное соотношение между пакетами сеансов. Для примера рассмотрим схему, приведенную на рис. 4.6. Абонентское устройство 1 (АУ-1) посылает АУ-5 ТВИ по IP каналам, разделенную на три пакета. Каждый пакет содержит 10 секунд ТВИ. Первый пакет П1 стартует в 00:00, П2 — в 10:00, а П3 в 20:00. Для передачи одного пакета потребуется 20 мс. Предположим, что задержка одинаковая. Приемник может воспроизводить П1 в 00:20, П2 в 10:20 и П3 в 20:20. Соотношение между пакетами сохраняется (рис 4.7). Задержка не влияет на качество воспроизведения ТВИ.

В реальных сетях, использующих технологию IP, чаще всего пакеты прибывают с различной задержкой. Рассмотрим более подробно этот вариант. П1 прибывает в 00:20 (задержка 20 мс.), второй в 10:23 (задержка 23 мс.) и третий в 20:27 (задержка 27мс.). Если приемник начинает воспроизведение П1 в 00:20, он закончит в 10:20, однако П2 прибывает только в 10:23; он прибывает на 2 мс позднее. Имеется промежуток между П1 и П2 и между П2 и П3, — это приведет к искажениям ТВ сигнала, таким как замирание и рассыпание картинки.

Один из методов решения этой проблемы является использование меток времени. Если каждый пакет имеет метку времени, которая указывает время его создания относительно первого пакета П1, то приемник может дополнить это время ко времени начала воспроизведения. Допустим, П1 имеет временную метку 0, второй имеет временную метку 10 и третий временную метку 20. Если приемник начинает воспроизводить П1 в 00:07, П2 в 10:27, а П3 в 20:27, то зазора между пакетами не возникнет.

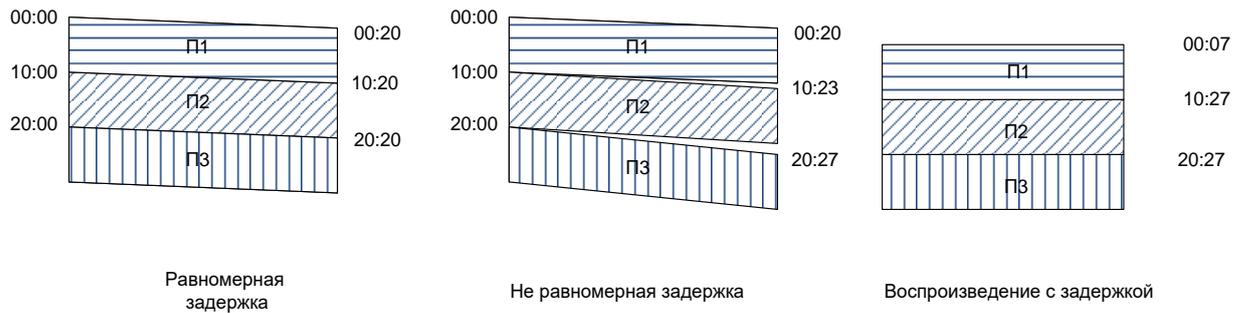


Рисунок 4.7. Пример временных соотношений при передаче ТВИ в IP сетях

Аналогично предыдущему примеру, активно используемой технологией при передаче трафика реального времени (видео или голосовая информация) в сетях с коммутацией пакетов является использование буфера, компенсирующего возможные вариации задержки в тракте передачи данных (Dejitter Buffer). Так например, использование буфера в 100 мс (т.е. фактически принудительная задержка воспроизведения на 100 мс) позволяет скомпенсировать значительные отклонения во времени прихода пакетов, но при этом значительно не повлияет на качество, даже при условии интерактивного общения, поскольку человеческие органы восприятия могут ощущать задержку приблизительно 200 мс и более.

Пакеты, распространяющиеся по сети, могут иметь непредсказуемую задержку и неравномерность доставки, что сильно затрудняет обеспечение потокового распространения ТВИ в реальном времени. При передаче ТВИ по таким каналам очень важно обеспечить высокую пропускную способность сети, а также непрерывный поток информации по каналам связи для плавности передачи видео в реальном времени. Современные методы поддержки качества (QoS) работают эффективней, когда трафик, которому нужно обеспечить гарантии обслуживания, всегда проходит через одни и те же промежуточные узлы.

Для решения этих проблем используются специальные протоколы, методы резервирования пропускной способности канала передачи и обеспечения требуемого уровня качества обслуживания

Существует два международных стандарта, регламентирующих общий набор характеристик IP сетей. Рекомендация МСЭ Y.1540 описывает стандартные сетевые характеристики для передачи пакетов в сетях IP [58,76]. Рекомендация

МСЭ Y.1541 определяет нормы для параметров, определенных в стандарте Y.1540 [59,66]. Кроме того, в этой рекомендации специфицированы шесть классов качества обслуживания QoS (Quality of Service) [2,63]. Какой из классов обслуживания должен использоваться для сети, зависит от того какие приложения будут по ней передаваться. Для передачи ТВИ в режиме реального времени необходимо обеспечивать 0 или 1 класс обслуживания. QoS обеспечивается благодаря гарантии заданной полосы пропускания канала связи, а также максимально возможным исключением перегрузок сети.

Для обеспечения необходимого QoS могут применяться следующие протоколы:

- RTP — протокол передачи в режиме реального времени.
- RTCP — протокол управления в режиме реального времени.
- RTSP — протокол потоковой передачи в режиме реального времени.
- RSVP — протокол резервирования ресурсов.
- MPLS — мультипротокольная коммутация меток.

RTP (рекомендация RFC 2833 и RFC 3551) - это пакетно-ориентированный транспортный протокол доставки данных в режиме реального времени [70,72]. В заголовок пакетов RTP включена следующая информация: временные метки, номера пакетов, тип содержимого пакетов, идентификатор источника, информация о безопасности. Эта информация используется на уровне приложений. RTP находится в стеке протоколов TCP/IP между UDP и прикладной программой. Главный вклад RTP — введение механизма для меток времени, последовательностей и смешивания.

RTCP представляет собой протокол управления, созданный для совместной работы с RTP, он помогает осуществлять синхронизацию видео и звука, обеспечивать качество обслуживания (QoS) [73-75].

RTSP — это протокол управления для инициализации и направления потоковых данных от видеосервера, реализующий возможности «удаленного управления». RTSP организует один или несколько синхронизированных во

времени потоков видео- и звуковых данных между источником и приемником, и управляет ими [69].

RSVP — протокол установления и поддержки требуемого уровня качества обслуживания (QoS), обеспечивающий наличие соответствующих сетевых ресурсов (например, достаточной полосы пропускания) [68].

MPLS использует метки фиксированного размера, которые позволяют быстрее и проще маршрутизировать пакеты в сети [71]. Использование данного протокола позволяет устанавливать приоритеты данным передаваемым по каналам передачи данных.

Масштабируемость, стоимость и простота реализации являются главным и неоспоримым достоинством сетей на основе технологии Ethernet. Современные коммутаторы используют двунаправленную схему приемо-передачи (Full Duplex) и подключение оконечных устройств непосредственно к порту коммутатора, что позволяет избежать проблем связанных с разделяемым доступом к среде в ранней реализации стандарта. А динамическое определение петель с использованием протоколов серии Spanning Tree позволяют повысить надежность сетей за счет избыточных дополнительных соединений.

Стандарты Ethernet активно развиваются в сторону увеличения скорости передачи данных. На сегодняшний день доступны стандарты и действующие реализации оборудования со скоростями передачи данных 40 и 100 Гбит/с.

Безусловно, сети передачи данных на основе коммутации пакетов не лишены недостатков. Но существующие механизмы обеспечения качества и повышения отказоустойчивости маршрутов передачи данных позволяют создавать надежные решения соответствующие самым высоким требованиям.

На рис. 4.8 представлен алгоритм контроля качества IP каналов, который используется при внедрении новых цифровых ТВ систем в НКУ РС МКС [24,27].

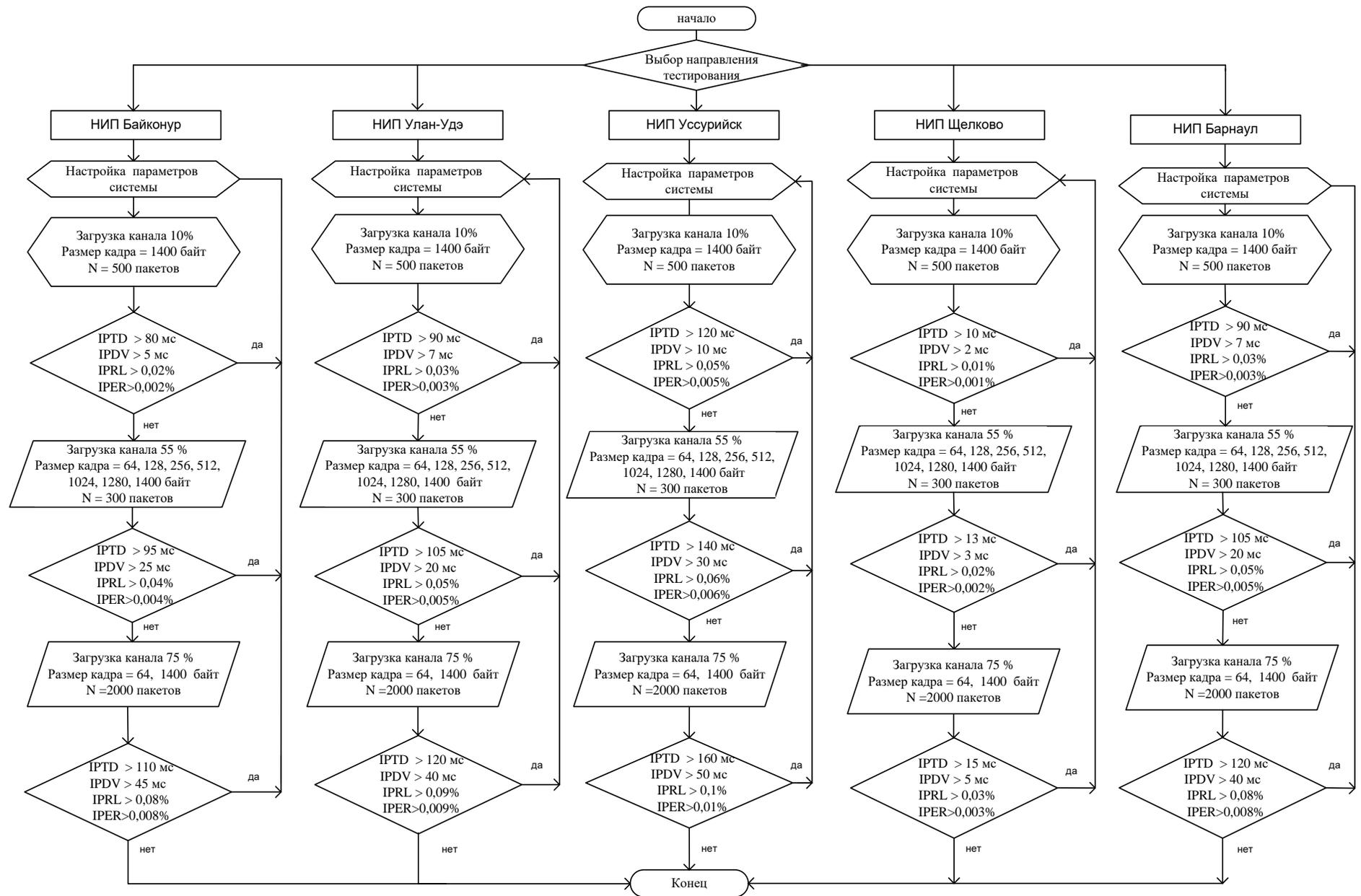


Рисунок 4.8. Алгоритм оценки качества IP каналов вне реального времени

Основные параметры, которые необходимо контролировать:

- IPTD (IP packet transfer delay) - задержка доставки пакета IP. Этот параметр определяется как время доставки пакета между источником и получателем для всех пакетов – как успешно переданных, так и пораженных ошибками.

- IPDV (IP packet delay variation) - вариация задержки пакета IP. Этот параметр определяется как разница между минимальным и максимальным временем доставки пакета IP между источником и получателем для всех пакетов. Флуктуация задержки пакета, или джиттер, проявляется в том, что последовательные пакеты прибывают к получателю в нерегулярные моменты времени.

- IPLR (IP packet loss ratio) - процент потери пакетов IP. Этот параметр определяется как процент отношения суммарного числа потерянных пакетов к общему числу принятых в выбранном наборе переданных и принятых пакетов.

IPER (IP packet error ratio) - процент ошибок пакетов IP. Этот параметр определяется как процент от суммы пакетов, принятых с ошибками, к сумме успешно принятых и пакетов, принятых с ошибками.

Процедура тестирования проходит в три этапа. Измерения проводятся по схеме, представленной на рис. 4.9. Для проведения тестирования необходимо подать постоянный трафик с помощью специального оборудования или ПО, предназначенного для этих целей. Следует заметить, что нагрузка может производиться только на IP адреса пассивного оборудования (ПК). Загрузка IP адресов активного оборудования (маршрутизаторов, коммутаторов) может привести к отказу этих устройств. Тестирование проводится запуском команды ring (сообщение с эхо-запросом по протоколу ICMP) с ПК, установленного в ЦУП на ПК, установленный на НИП.

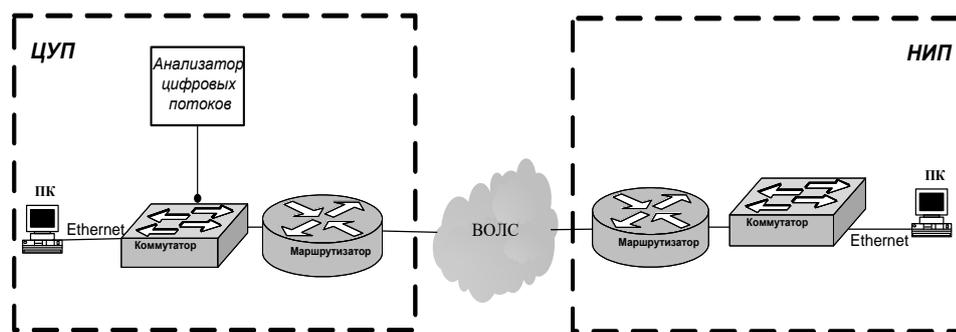


Рисунок 4.9. Схема тестирования IP каналов в НКУ РС МКС

На первом этапе тестирования проводится 10 % загрузка канала. Необходимо передать не менее 500 пакетов максимального размера - 1400 байт. При этом должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика IPTD не должна превышать 10 мс, метрика IPDV не должна превышать 2, IPRL не должна превышать 0,01%, IPER не должна превышать 0,001%;
- для НИП Улан-Удэ метрика IPTD не должна превышать 90 мс, метрика IPDV не должна превышать 7, IPRL не должна превышать 0,03%, IPER не должна превышать 0,003%;
- для НИП Уссурийск метрика IPTD не должна превышать 120 мс, метрика IPDV не должна превышать 10 мс, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;
- для НИП Барнаул метрика IPTD не должна превышать 90 мс, метрика IPDV не должна превышать 7, IPRL не должна превышать 0,03%, IPER не должна превышать 0,003%;
- для НИП Байконур метрика IPTD не должна превышать 80 мс, метрика IPDV не должна превышать 5, IPRL не должна превышать 0,02%, IPER не должна превышать 0,002%.

На втором этапе тестирования проводится 55 % загрузка канала. Необходимо передать не менее 300 кадров. На данном этапе необходимо проверить возможность передачи пакетов всех типовых размеров: 64, 128, 256, 512, 1024, 1280 и 1400 байт.

При размере пакета 64 байт должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика IPTD не должна превышать 11 мс, метрика IPDV не должна превышать 2, IPRL не должна превышать 0,02%, IPER не должна превышать 0,002%;

- для НИП Улан-Удэ метрика IPTD не должна превышать 95 мс, метрика IPDV не должна превышать 11, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Уссурийск метрика IPTD не должна превышать 127 мс, метрика IPDV не должна превышать 17 мс, IPRL не должна превышать 0,06%, IPER не должна превышать 0,006%;

- для НИП Барнаул метрика IPTD не должна превышать 95 мс, метрика IPDV не должна превышать 11, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Байконур метрика IPTD не должна превышать 83 мс, метрика IPDV не должна превышать 10, IPRL не должна превышать 0,04%, IPER не должна превышать 0,004%.

При размере пакета 128 байт должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика IPTD не должна превышать 12 мс, метрика IPDV не должна превышать 3, IPRL не должна превышать 0,02%, IPER не должна превышать 0,002%;

- для НИП Улан-Удэ метрика IPTD не должна превышать 97 мс, метрика IPDV не должна превышать 13, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Уссурийск метрика IPTD не должна превышать 129 мс, метрика IPDV не должна превышать 22 мс, IPRL не должна превышать 0,06%, IPER не должна превышать 0,006%;

- для НИП Барнаул метрика IPTD не должна превышать 97 мс, метрика IPDV не должна превышать 13, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Байконур метрика IPTD не должна превышать 86 мс, метрика IPDV не должна превышать 14, IPRL не должна превышать 0,04%, IPER не должна превышать 0,004%.

При размере пакета 256 байт должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика IPTD не должна превышать 12 мс, метрика IPDV не должна превышать 3, IPRL не должна превышать 0,02%, IPER не должна превышать 0,002%;

- для НИП Улан-Удэ метрика IPTD не должна превышать 99 мс, метрика IPDV не должна превышать 15, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Уссурийск метрика IPTD не должна превышать 131 мс, метрика IPDV не должна превышать 24 мс, IPRL не должна превышать 0,06%, IPER не должна превышать 0,006%;

- для НИП Барнаул метрика IPTD не должна превышать 99 мс, метрика IPDV не должна превышать 15, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Байконур метрика IPTD не должна превышать 88 мс, метрика IPDV не должна превышать 16, IPRL не должна превышать 0,04%, IPER не должна превышать 0,004%.

При размере пакета 512 байт должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика IPTD не должна превышать 13 мс, метрика IPDV не должна превышать 3, IPRL не должна превышать 0,02%, IPER не должна превышать 0,002%;

- для НИП Улан-Удэ метрика IPTD не должна превышать 102 мс, метрика IPDV не должна превышать 17, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Уссурийск метрика IPTD не должна превышать 133 мс, метрика IPDV не должна превышать 27 мс, IPRL не должна превышать 0,06%, IPER не должна превышать 0,006%;

- для НИП Барнаул метрика IPTD не должна превышать 102 мс, метрика IPDV не должна превышать 17, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Байконур метрика IPTD не должна превышать 90 мс, метрика IPDV не должна превышать 19, IPRL не должна превышать 0,04%, IPER не должна превышать 0,004%.

При размере пакета 1024 байт должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика IPTD не должна превышать 13 мс, метрика IPDV не должна превышать 3, IPRL не должна превышать 0,02%, IPER не должна превышать 0,002%;

- для НИП Улан-Удэ метрика IPTD не должна превышать 103 мс, метрика IPDV не должна превышать 18, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Уссурийск метрика IPTD не должна превышать 135 мс, метрика IPDV не должна превышать 28 мс, IPRL не должна превышать 0,06%, IPER не должна превышать 0,006%;

- для НИП Барнаул метрика IPTD не должна превышать 103 мс, метрика IPDV не должна превышать 18, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;

- для НИП Байконур метрика IPTD не должна превышать 94 мс, метрика IPDV не должна превышать 23, IPRL не должна превышать 0,04%, IPER не должна превышать 0,004%.

При размере пакета 1400 байт должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика IPTD не должна превышать 13 мс, метрика IPDV не должна превышать 3, IPRL не должна превышать 0,02%, IPER не должна превышать 0,002%;
- для НИП Улан-Удэ метрика IPTD не должна превышать 105 мс, метрика IPDV не должна превышать 20, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;
- для НИП Уссурийск метрика IPTD не должна превышать 140 мс, метрика IPDV не должна превышать 30 мс, IPRL не должна превышать 0,06%, IPER не должна превышать 0,006%;
- для НИП Барнаул метрика IPTD не должна превышать 105 мс, метрика IPDV не должна превышать 20, IPRL не должна превышать 0,05%, IPER не должна превышать 0,005%;
- для НИП Байконур метрика IPTD не должна превышать 95 мс, метрика IPDV не должна превышать 25, IPRL не должна превышать 0,04%, IPER не должна превышать 0,004%.

На третьем этапе тестирования проводится 75 % загрузка канала. Необходимо передать не менее 2000 кадров. На данном этапе необходимо проверить возможность передачи пакетов двух типовых размеров: 64 и 1400 байт.

При размере пакета 64 байт должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика IPTD не должна превышать 14 мс, метрика IPDV не должна превышать 4, IPRL не должна превышать 0,02%, IPER не должна превышать 0,002%;
- для НИП Улан-Удэ метрика IPTD не должна превышать 110 мс, метрика IPDV не должна превышать 30, IPRL не должна превышать 0,08%, IPER не должна превышать 0,008%;

- для НИП Уссурийск метрика IPTD не должна превышать 150 мс, метрика IPDV не должна превышать 45 мс, IPRL не должна превышать 0,09%, IPER не должна превышать 0,009%;

- для НИП Барнаул метрика IPTD не должна превышать 110 мс, метрика IPDV не должна превышать 30, IPRL не должна превышать 0,08%, IPER не должна превышать 0,008%;

- для НИП Байконур метрика IPTD не должна превышать 100 мс, метрика IPDV не должна превышать 40, IPRL не должна превышать 0,07%, IPER не должна превышать 0,007%.

При размере пакета 1400 байт должны соблюдаться следующие характеристики:

- для НИП Щелково метрика IPTD не должна превышать 15 мс, метрика IPDV не должна превышать 5, IPRL не должна превышать 0,03%, IPER не должна превышать 0,003%;

- для НИП Улан-Удэ метрика IPTD не должна превышать 120 мс, метрика IPDV не должна превышать 40, IPRL не должна превышать 0,09%, IPER не должна превышать 0,009%;

- для НИП Уссурийск метрика IPTD не должна превышать 160 мс, метрика IPDV не должна превышать 50 мс, IPRL не должна превышать 0,1%, IPER не должна превышать 0,01%;

- для НИП Барнаул метрика IPTD не должна превышать 120 мс, метрика IPDV не должна превышать 40, IPRL не должна превышать 0,09%, IPER не должна превышать 0,009%;

- для НИП Байконур метрика IPTD не должна превышать 110 мс, метрика IPDV не должна превышать 45, IPRL не должна превышать 0,08%, IPER не должна превышать 0,008%.

В результате тестирования выводятся параметры, показанные на рис. 4.10.

Пакетов: отправлено = 400, получено = 400, потеряно = 0 (0% потерь),
 Приблизительное время приема-передачи в мс:
 Минимальное = 124мсек, Максимальное = 126 мсек, Среднее = 124 мсек

Рисунок 4.10. Результаты тестирования каналов Ethernet

***Методика поиска неисправных элементов при возникновении
 нештатных ситуаций на уровне распределения***

Если во время испытаний по приведенной схеме выявлены отклонения от нормативных значений, необходимо выяснить на каком именно участке или устройстве сети происходит сбой. Сети, использующие технологию коммутации пакетов, обычно состоят из большого числа устройств. Чем больше расстояние между начальной и конечной точкой сети, тем больше будет устройств. В НКУ РС МКС это число доходит до 60 устройств на одном участке.

Для поиска неисправности необходимо дать нагрузку на ПК-2 (рис. 4.11), который находится на конечном узле. Затем поочередно тестировать устройства, начиная с конечной точки (в нашем случае сетевое устройство (СУ)-4). Если при тестировании СУ-4 мы обнаружили большое количество ошибок, значит, на участке от СУ-1 до СУ-4 происходит сбой.

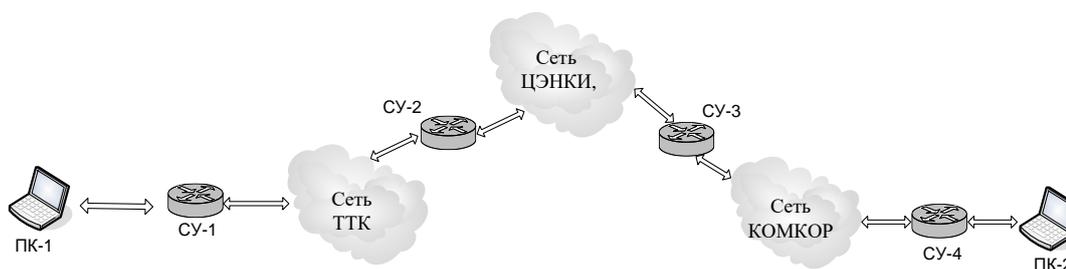


Рисунок 4.11. Схема тестирования каналов Ethernet, при поиске
 неисправностей

Затем тестируем СУ-3, если характеристики сети будут удовлетворительными, значит, сбой происходит или на промежутке от СУ-3

до СУ-4 или на СУ-4. После устранения неисправности, необходимо провести новое тестирование.

Методика оперативного мониторинга PDH каналов в НКУ РС МКС

На рис. 4.12 представлен алгоритм оперативного мониторинга PDH каналов в НКУ РС МКС [14-15]. Оперативный мониторинг осуществляется путем снятия метрик в реальном режиме времени с каналобразующей аппаратуры.

Основные параметры, которые необходимо контролировать:

- ESR - Коэффициент секунд с ошибками. Отношение ES к общему количеству секунд в период готовности за время интервала измерений.

- SESR - Коэффициент секунд со значительным количеством ошибок. Отношение SES к общему количеству секунд в период готовности за время интервала измерений.

- BBER - Коэффициент блоков с фоновыми ошибками. Отношение блоков с фоновыми ошибками к общему количеству блоков в период готовности за фиксированный интервал времени измерения. При подсчете общего количества блоков исключаются блоки, попавшие в SES.

При этом должны соблюдаться следующие характеристики:

- во время передачи ТВИ старта метрика ES не должна быть выше 5, метрика SES не должна быть выше 1, метрика ESR не должна превышать 0,05, метрика SESR не должна быть выше 0,002, метрика BBER не должна быть выше 2×10^{-4} .

- во время передачи ТВИ стыковки метрика ES не должна быть выше 4, метрика SES не должна быть выше 1, метрика ESR не должна превышать 0,04, метрика SESR не должна быть выше 0,001, метрика BBER не должна быть выше 2×10^{-4} .

- во время передачи ТВИ при выходе в открытый космос, посадки спускаемого аппарата, а также штатной работы на МКС метрика ES не должна быть выше 5, метрика SES не должна быть выше 1, метрика ESR не должна превышать 0,05, метрика SESR не должна быть выше 0,002, метрика VBER не должна быть выше 2×10^{-4} .

Расчет метрик каналов PDH был проведен в соответствии с Требованиями норм на электрические параметры основных цифровых каналов и трактов магистральных и внутрислоновых первичных сетей ВСС России, а также в соответствии с международными рекомендациями МСЭ-Т № M2100, M2101, M2110, M2120, G.821, G.826, G.827 [48-49,60-62,67].

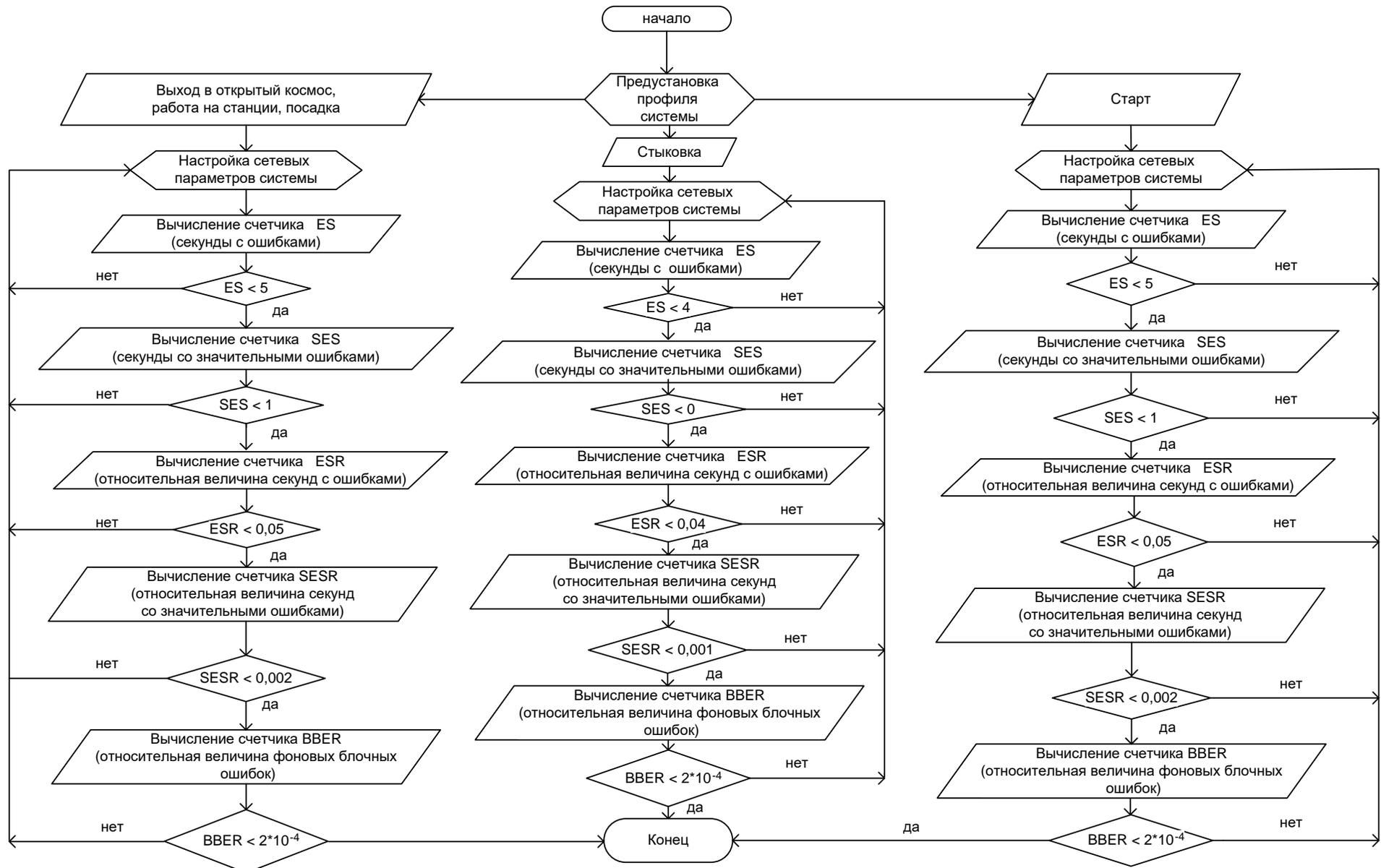


Рисунок 4.12. Алгоритм оперативного мониторинга PDN каналов

Методика оперативного мониторинга IP каналов в НКУ РС МКС

На рис. 4.13 представлен алгоритм оперативного мониторинга IP каналов в НКУ РС МКС [24,27]. Оперативный мониторинг осуществляется путем снятия метрик в реальном режиме времени с каналобразующей аппаратуры.

Основные параметры, которые необходимо контролировать те же, что и при тестировании вне реального времени. При этом должны соблюдаться следующие характеристики:

- во время передачи ТВИ старта метрика IPTD не должна превышать 120 мс, метрика IPDV не должна превышать 45, IPRL не должна превышать 0,02%, IPER не должна превышать 0,002%;

- во время передачи ТВИ стыковки метрика IPTD не должна превышать 100 мс, метрика IPDV не должна превышать 40, IPRL не должна превышать 0,01%, IPER не должна превышать 0,001%;

- во время передачи ТВИ при выходе в открытый космос, посадки спускаемого аппарата, а также штатной работы на МКС метрика IPTD не должна превышать 130 мс, метрика IPDV не должна превышать 50, IPRL не должна превышать 0,03%, IPER не должна превышать 0,003%.

Расчет метрик каналов IP был проведен в соответствии с международной рекомендацией RFC 2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices (Методология Эталонного тестирования для устройств, входящих в состав сети) [31], а также с международными рекомендациями ITU-T № I.380, Y.1540, Y.1541, Y.1231, Y.1291 [51, 56-59, 76].

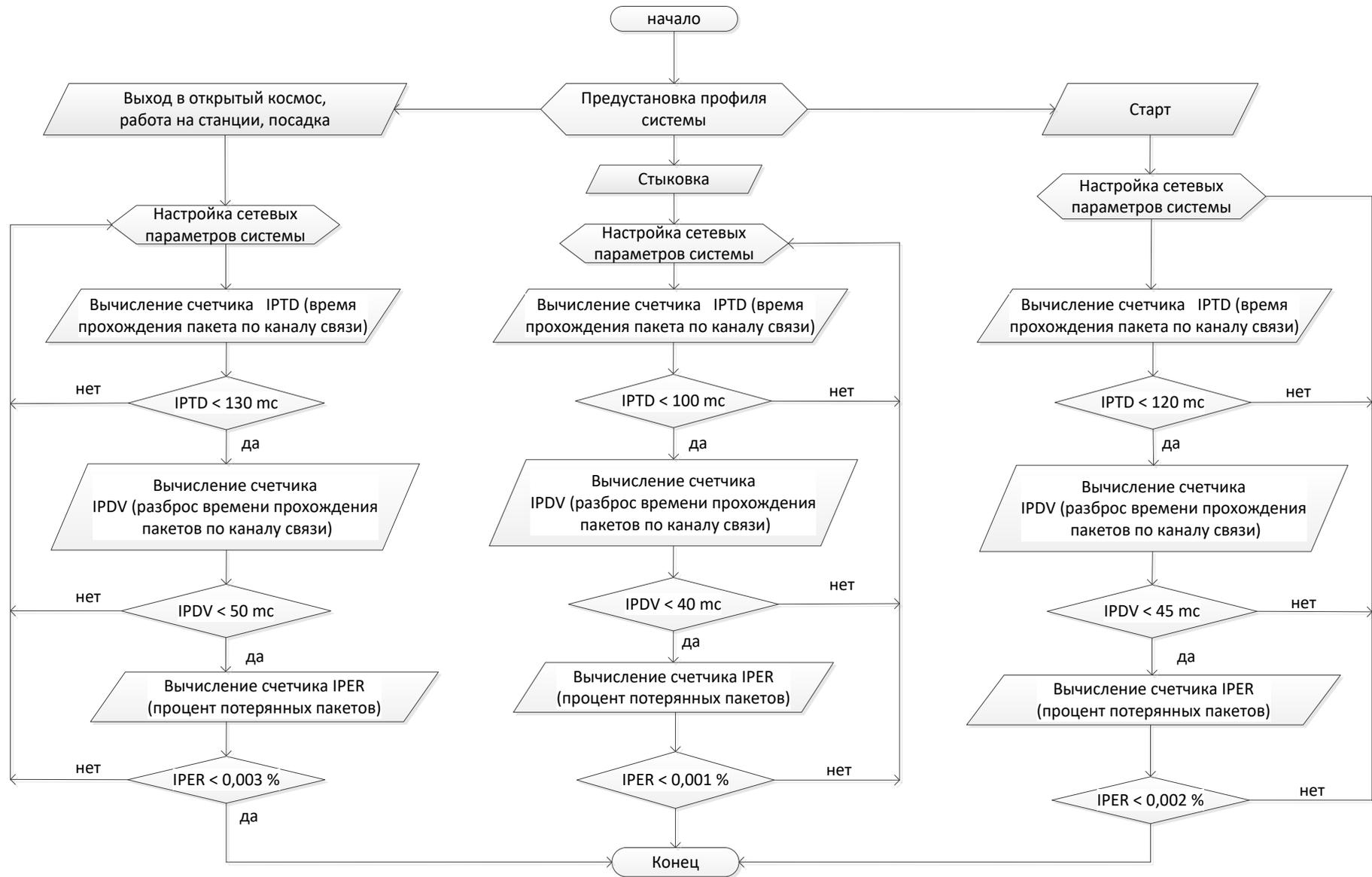


Рисунок 4.13. Алгоритм оперативного мониторинга IP каналов

4.3 Методика мониторинга транспортного потока цифровых ТВ систем, ориентированных на обеспечение операций по управлению полетами

Данная методика, используется для определения работоспособности ТВ тракта на уровне компрессии (сжатия). На этом уровне необходимо выявить проблемы, которые могут возникнуть во время процесса кодирования и декодирования. Так как ТВИ содержат в себе высокий уровень избыточности сигнала, использование их без сжатия не целесообразно и экономически не выгодно. Для достижения наибольшего сжатия, необходимо использовать систему сжатия с потерями информации [4,6-12].

При проведении сжатия сначала устраняется временная избыточность, а затем пространственная.

Процесс сжатия ЦТВ сигнала может быть разбит на ряд последовательных операций: предварительная обработка, дискретное косинусное преобразование (ДКП), квантование, кодирование. В процессе предварительной обработки ТВ сигнала все кадры делятся на четыре типа: кадры сжатые независимо от других (I-кадры), сжатые с использованием ссылки на одно изображение (P-кадры), сжатые с использованием ссылки на два изображения (B-кадры), независимо сжатые с большой потерей качества (DC-кадры).

При сжатии кадр из цветового пространства RGB переводится в цветовое пространство YUV. Каждая из плоскостей сжимаемого изображения (Y, U, V) разделяется на блоки 8x8. Причем плоскости U и V, соответствующие компоненте цветности берутся с разрешением в два раза меньшим (по вертикали и горизонтали), чем исходное изображение. Блоки 8x8 группируются в макроблоки. Макроблок - это группа из четырех соседних блоков в плоскости яркостной компоненты Y (матрица пикселей 16x16 элементов) и два соответствующих им по расположению блока из плоскостей цветности U и V.

Затем происходит ДКП исходной матрицы 8x8, квантование матрицы и вытягивание ее в вектор $v_{11}, v_{12}, v_{21}, v_{31}, v_{22}, \dots, v_{88}$ (зигзаг-сканирование),

сжатие вектора групповым кодированием и, наконец, сжатие по алгоритму Хаффмана или алгоритму, использующему арифметическое сжатие.

Так же в процессе предварительной обработки может использоваться вейвлет-преобразование, использование которого повышает эффективность методов сжатия [7,12]. Для кодирования ТВИ применяются следующие стандарты MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.261, H.263, H.264, H.265.

Для мониторинга качества ТВИ на уровне компрессии разработаны три алгоритма, соответствующие приоритету I, II и III [24,26-30].

Методика мониторинга ТП, соответствующий приоритету I уровня

Алгоритм мониторинга ТП, соответствующий приоритету первого уровня, показан на рис. 4.14. На данном этапе необходимо контролировать основные параметры, необходимые для декодирования ТП. Процедура тестирования разделена на шесть этапов.

На первом этапе проводится тестирование ТП на отсутствие потери синхронизации. Захват цепи синхронизации – важнейшая задача при оценки состояния ТП. Захват зависит от числа правильно принятых последовательных синхробайт. Синхронизация считается установленной после успешного приема 5 последовательных байтов синхронизации. В случае пропуска 2 байтов синхронизации, считается, что синхронизация потеряна, и остальные параметры не измеряются.

На втором этапе необходимо определить ошибки приема байта синхронизации – счетчик устанавливается, если сразу после приема очередного пакета не обнаружен байт синхронизации. Это важный параметр, который используется для синхронизации кодера и декодера. Ошибкой синхробайта считается момент, когда синхробайт 0x47 не появляется после каждых 188 или 204 байтов. Заголовок каждого пакета должен начинаться с синхробайт 0x47 в hex формате, который используется для распознавания начала пакета.

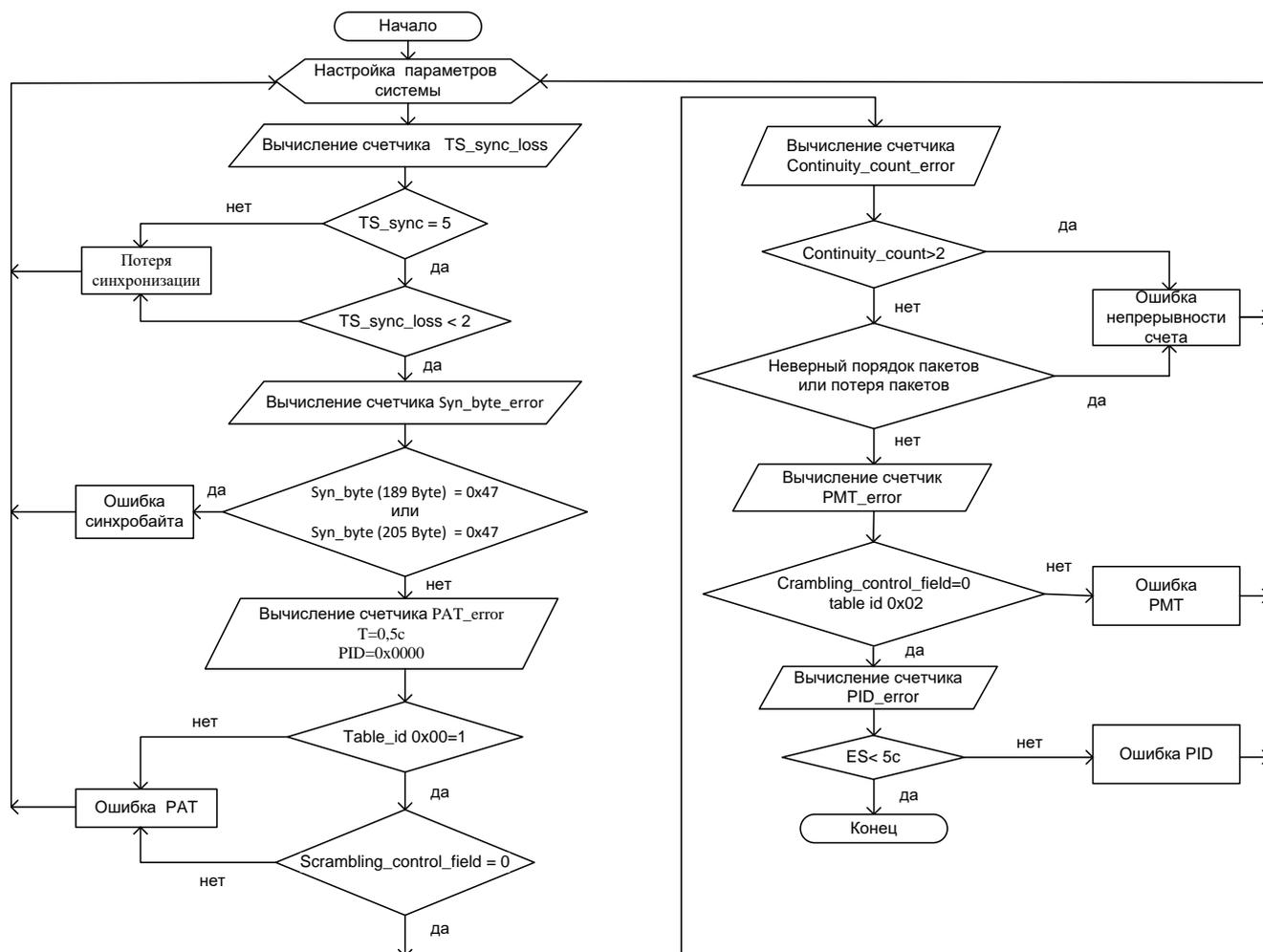


Рисунок 4.14. Алгоритм мониторинга ТП, соответствующий приоритету первого уровня

На третьем этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки таблицы соединения программ - счетчик устанавливается, если пакет с таблицей PAT не появляется в течение 0,5 секунд, или пакет с идентификатором 0x0000 не содержит идентификатора таблиц 0x00, показывающего начало секции PAT, или его поле контроля шифрования не равно 00.

Таблицы PAT и PMT используются для привязки определенных пакетных идентификаторов к конкретным программам и к компонентам программ. PMT таблицы включаются в каждый поток и содержат пакетные идентификаторы (PID-коды) компонентов телепрограммы - видео, звука, данных синхронизации.

На четвертом этапе необходимо определить ошибки непрерывности счета - счетчик устанавливается при неправильной очередности пакетов, в том числе при обнаружении пропущенных пакетов. Также ошибкой считается, если пакет повторяется больше 1 раза.

На пятом этапе определяем ошибки таблицы структуры программы - счетчик устанавливается, если пакет с таблицей PMT для каждого идентификатора в таблице PAT не появляется в течение 0,5 секунд, или пакеты с этими идентификаторами не содержат идентификатора таблиц 0x02, или их поле контроля шифрования не равно 00.

На шестом этапе определяем ошибки в определении идентификации пакета - счетчик устанавливается, если для полученного идентификатора пакета PID (идентификатор принадлежности транспортного пакета к определенному элементарному потоку) отсутствует элементарный поток. Для большинства PID установленный период не должен превышать 5с.

Методика мониторинга ТП, соответствующая приоритету II уровня

Алгоритм мониторинга ТП, соответствующий приоритету второго уровня, показан на рис. 4.15. Приоритету второго уровня соответствуют параметры, важные для обеспечения устойчивой работы системы в целом, включающие в себя параметры для непрерывного и периодического мониторинга. Процедура тестирования разделена на шесть этапов.

На первом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки в транспортном пакете – счетчик устанавливается по значению поля заголовка пакета указателя транспортной ошибки. При обнаружении ошибок в ТП остальные параметры для этого пакета не измеряются.

На втором этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки циклического контроля всех таблиц - счетчик устанавливается, если в какой-то из таблиц зафиксирована ошибка. Типы таблиц:

- таблица соединения программ – PAT;
- таблица структуры программ - PMT;
- таблица сетевой информации – NIT;
- таблица условного доступа – CAT;
- таблица групп программ – BAT;
- таблица описания сервисной информации – SDT;

- таблица событий – EIT;
- таблица запущенных программ RST;
- таблица смещения времени – TOT.

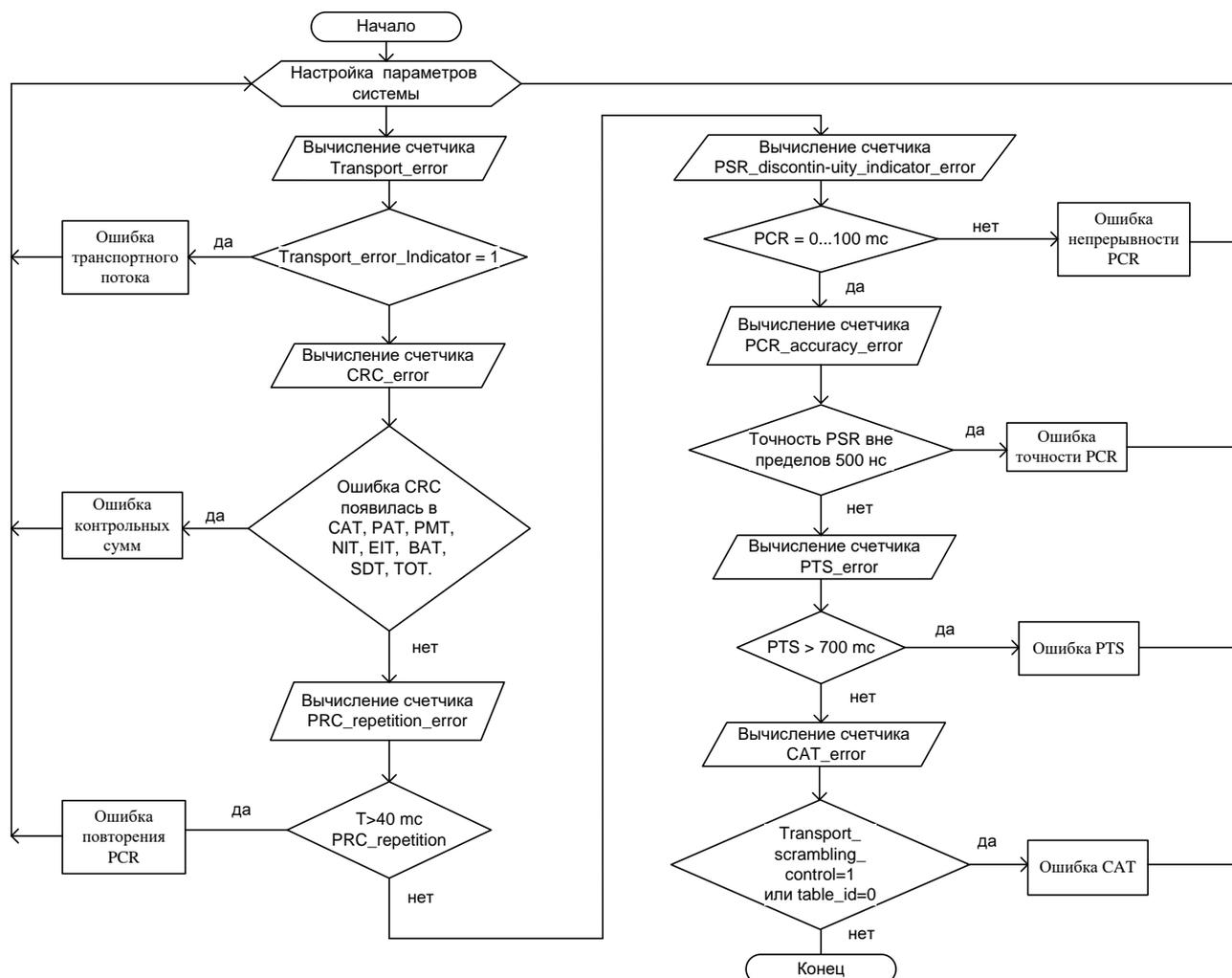


Рисунок 4.15. Алгоритм мониторинга ТП, соответствующий приоритету второго уровня

На третьем этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки в передаче сигнала синхронизации задающего генератора - счетчик устанавливается, если интервал между метками времени больше 40 мс. Если период повторения PCR превышает 40 мс, наступает заметное дрожание или дрейф тактовой частоты и декодер не может выйти из синхронизма. Фиксируется также нарушение непрерывности временных меток более чем 100 мс без предварительного сообщения установкой счетчика непрерывности.

На четвертом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки недопустимого ухода частоты сигнала синхронизации - счетчик

устанавливается, если при подстройке задающего генератора обнаруживается ошибка по фазе больше 500 нс.

На пятом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки меток времени представления - счетчик устанавливается, если метки времени представления отсутствуют в потоке более 700 мс. Данный параметр доступен, если ТП не скремблирован.

На шестом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки таблицы условного доступа – счетчик устанавливается при обнаружении отсутствия данной таблицы.

Методика мониторинга ТП, соответствующая приоритету III уровня

Алгоритм мониторинга ТП, соответствующий приоритету третьего уровня, показан на рис. 4.16-4.17. Приоритету третьего уровня соответствуют параметры, необходимые для работы отдельных приложений, которые требуются только в специальных случаях. Процедура тестирования разделена на тринадцать этапов.

На первом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки NIT данного потока – в пакетах с PID 0x0010 найдены секции с table_id, отличающимся от 0x40, 0x41 и 0x72 (т.е. не NIT и ST). Отсутствуют секции с table_id 0x40 в PID 0x0010 более 10 с. Любые две секции с table_id 0x40 появляются под PID 0x0010 в установленный период времени (25 мс и менее). Таблица NIT содержит параметры системы передачи данных - идентификатор сети, частоту транспондера, орбитальную позицию и т.п.

На втором этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки NIT других потоков – интервал времени между секциями с одинаковым номером и table_id 0x41 в пакетах с PID 0x0010 превышает установленное значение (10 с и более).

На третьем этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки повторения SI (сервисной информации) – частота повторений SI таблиц вне указанных пределов.

На четвертом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки буфера – при переполнении буфера могут происходить следующие ситуации: TB_buffer_error – переполнение транспортного буфера, TB_sys_bufferring_error - переполнение транспортного буфера для системной информации, MB_bufferring_error - переполнение буфера мультиплексора или опустошения буфера мультиплексора, если используется метод vbv_delay, EB_bufferring_error – переполнение буфера ЭП, или опустошение буфера ЭП при использовании метода vbv_delay или метода утечки (leak) с low_delay_flag или DSM_trink_mode_flag установленными на 0, B_bufferring_error – переполнение или опустошение основного буфера, B_sys_bufferring_error – переполнение входного PSI буфера.

На пятом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки, которая возникает при отсутствии упоминаний PID (Unreferenced_PID) – PID не упоминается в PMT или CAT в течение 0,5с.

На шестом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки SDT данного потоков – секции с table_id 0x42 (SDT данного TS), отсутствующие в пакетах с PID 0x0011 более 2 с. Секции с table_id, отличным от 0x72, 0x42, 0x46, 0x4A в пакетах с PID 0x0011. Любые две секции с table_id 0x42, появляющиеся под PID 0x0011 в установленный период времени (25 мс и менее).

На седьмом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки SDT других потоков – интервал между секциями с одинаковым номером section_number и table_id = 0x46 (SDT, другие TS) в PID 0x0011 больше указанного значения (10с и более).

На восьмом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки EIT данного потока – секции '0' с table_id = 0x4E (EIT-P данного TS) не присутствуют в PID 0x0012 более 2 с. Секции '1' с table_id = 0x4E (EIT-F данного TS) не присутствуют в PID 0x0012 более 2 с. Секции с table_ids не входящими в диапазон 0x4E - 0x6F или 0x72 в PID 0x0012. Любые две секции с table_id 0x4E (EIT-P/F данного TS) появляются в PID 0x0010 в установленный период времени (25 мс и менее). Таблица EIT содержит информацию о событиях в программе - начале видео, продолжительности и TDT.

На девятом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки EIT других потоков - интервал между секциями '0' с table_id = 0x4F (EIT-P других TS) в PID 0x0012 превышает указанное значение (10с и более). Интервал между секциями '1' с table_id = 0x4F (EIT-F других TS) в PID 0x0012 превышает указанное значение (10с и более).

На десятом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки RST - секции с table_id, не равным 0x71 или 0x72 в PID 0x0013. Любые две секции с table_id = 0x71 (RST), появляющиеся в PID 0x0013 в установленный период времени (25 мс и менее).

На одиннадцатом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки TDT - секции с table_id = 0x70 (TDT) отсутствуют в PID 0x0014 более 30 с. Секции table_id не равные 0x70, 0x72 (ST) или 0x73 (TOT) в PID 0x0014. Любые две секции с table_id = 0x70 (TDT), появляющиеся в PID 0x0014 в установленный период времени (25 мс и менее).

На двенадцатом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки опустошения буфера - транспортный буфер (TBn) не является пустым больше 1 раза в 1с. Или транспортный буфер, предназначенный для информации системной (TBsys) не является пустым больше 1 раза в 1с. Или буфер мультиплексирования (MBn) не является пустым больше 1 раза в 1с.

На тринадцатом этапе необходимо убедиться в отсутствии ошибки задержки передачи данных – возникает при задержке данных (за исключением видеоданных) через буферы TSTD, превышающие 1 с. Или задержка видеоданных через буферы TSTD, превышающая 60 с.

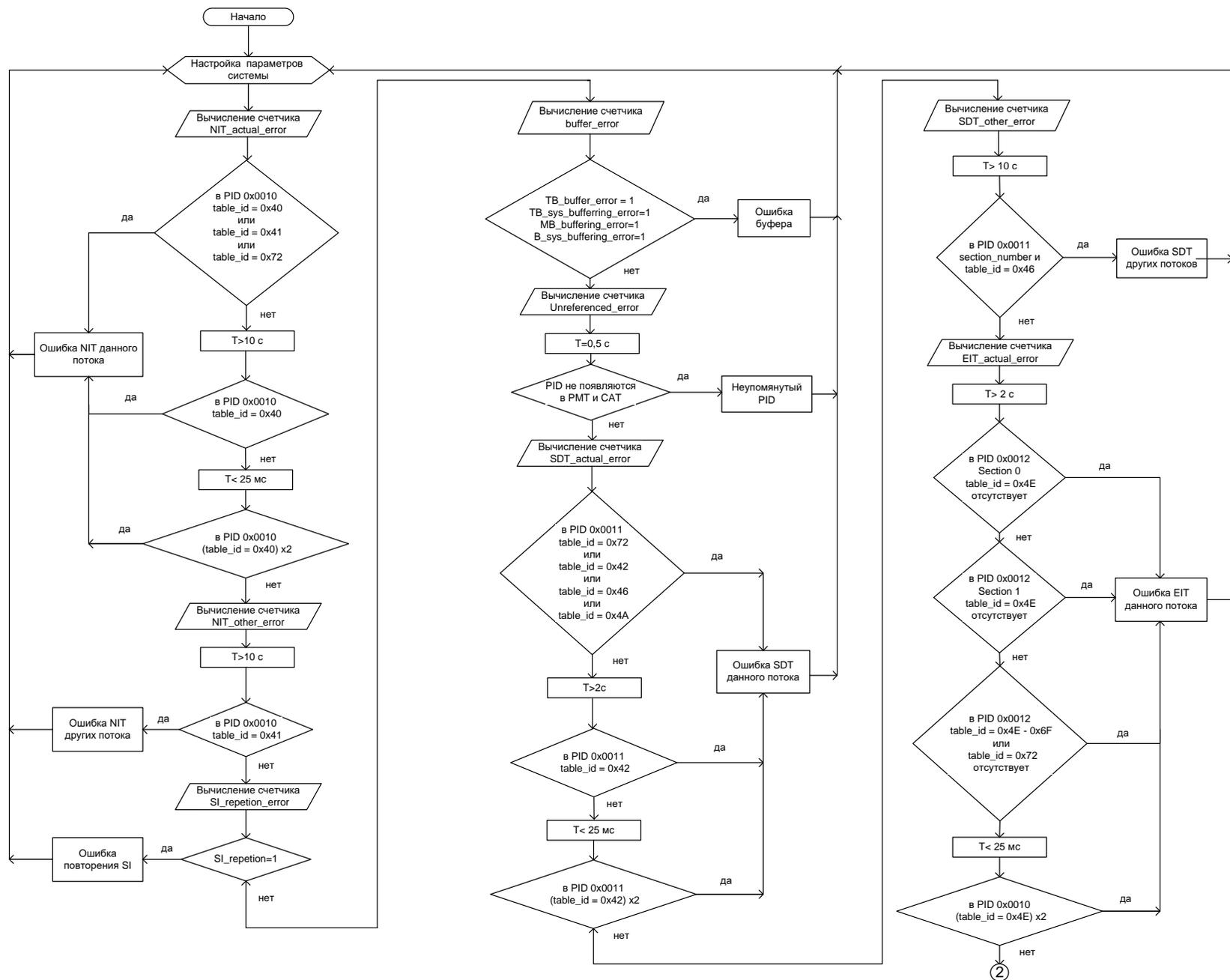


Рисунок 4.16. Алгоритм мониторинга ТП, соответствующий приоритету третьего уровня, часть 1.

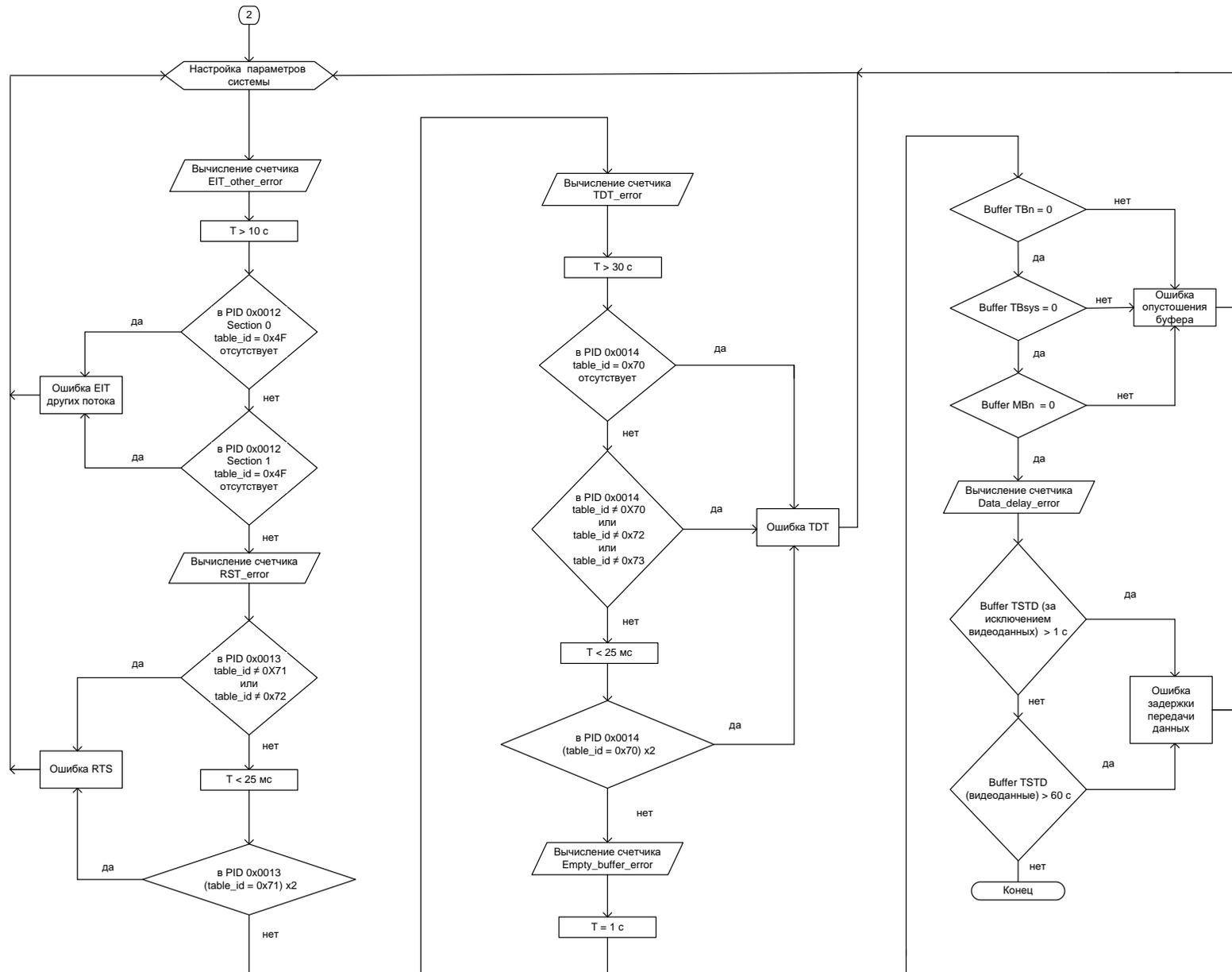


Рисунок 4.17. Алгоритм мониторинга ТПИ, соответствующий приоритету третьего уровня, часть 2

Расчет метрик ТП был проведен в соответствии с международными рекомендациями TR 101 290 V1.2.1, ISO/IEC 13818-1, ISO/IEC 13818-4, ISO/IEC 13818-9, ETSI TR 101 154, ETSI EN 300 468, ETSI TR 101 211 [32-34,39-42]. Расчеты были подтверждены экспериментально во время проведения комплексных испытаний телевизионных систем в НКУ РС МКС.

4.4 Методика анализа и мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС

Профили ТВ системы, характерные для НКУ РС МКС

Основной особенностью ТВ системы в контуре управления КА является наличие различных требований к характеристикам ТВ картинки при различных сюжетах, а так же быстрая смена настроек, при смене сюжетов. В данное время в НКУ РС МКС используется несколько видов сюжетов, содержащих ТВИ: старт, стыковки, работа в открытом космосе, репортажи с МКС, научные и прикладные орбитальные эксперименты, посадка экипажа.

На рис. 4.18 показан пример ТВИ, получаемый в ЦУПе во время старта ТПК «Союз» и ТГК «Прогресс». Основные технические требования, предъявляемые к данному ТВ сюжету – это задержка, цветопередача, непрерывность ТВИ.

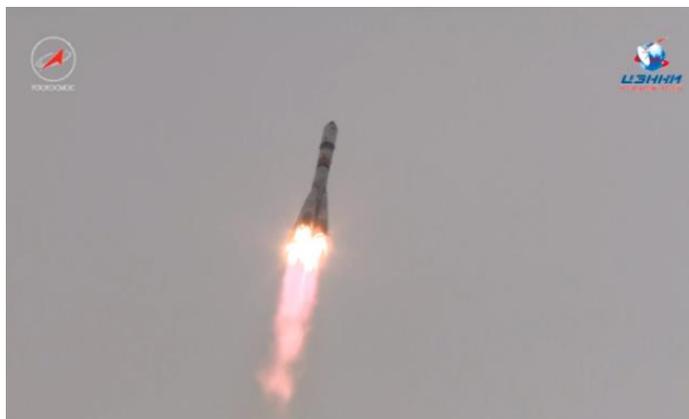


Рисунок 4.18. ТВИ, получаемая в ЦУПе во время старта КА «Союз» и «Прогресс»

На рис. 4.19 показан пример ТВИ, получаемый в ЦУПе во время стыковки МКС с ТПК «Союз» и ТГК «Прогресс». Это информация специального ТВ, представленная в виде сюжетов изображений черно-белого ТВ, в виде дисплейной телеметрии. С борта КА принимается, также, черно-белое ТВ, содержащее комбинированное изображение, формируемое видеокамерой внешнего обзора и совмещенное с телеметрией. Основные технические требования, предъявляемые к данному ТВ сюжету – это минимальная задержка, высокая четкость, разборчивость символов, условия освещения при переходе из света в тень.

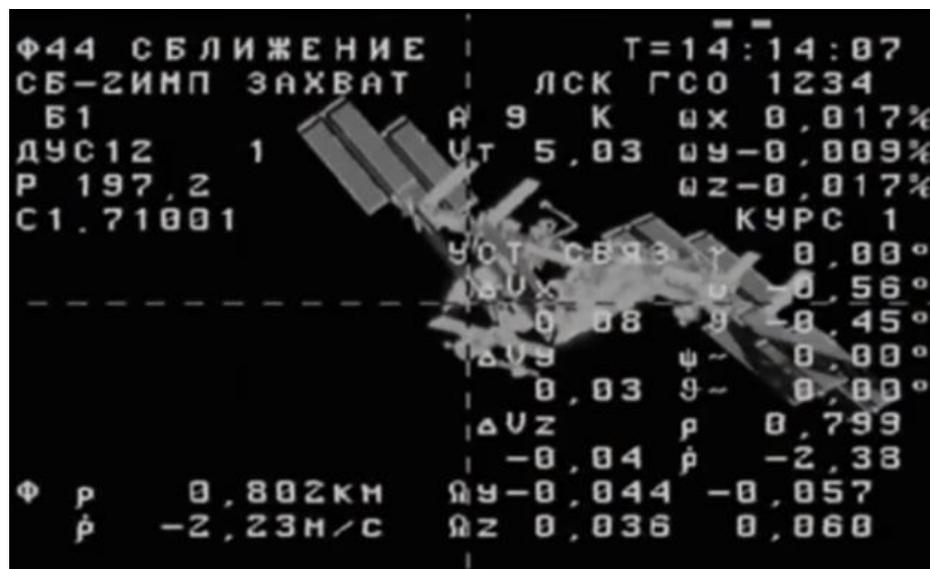


Рисунок 4.19. ТВИ, получаемая в ЦУПе во время стыковки МКС с КА «Союз» и «Прогресс»

На рис. 4.20 показан пример ТВИ, получаемый в ЦУПе во время репортажей с МКС. Это информация специального ТВ, представленная в виде сюжетов цветного ТВ, передаваемых видеокамерами из внутренних помещений КА. Основные технические требования, предъявляемые к данному ТВ сюжету – это контрастность, яркость, цветопередача, непрерывность.



Рисунок 4.20. ТВИ, получаемая в ЦУПе во время репортажей с МКС

На рис. 4.21 показан пример ТВИ, получаемый в ЦУПе во время работы в открытом космосе. Это информация специального ТВ, представленная в виде сюжетов цветного ТВ, передаваемых видеокамерами, формируемое видеокамерами внешнего обзора. Основные технические требования, предъявляемые к данному ТВ сюжету – это контрастность, резкость изменения яркости, условия освещения при переходе из света в тень.



Рисунок 4.21. ТВИ, получаемая в ЦУПе во время работа в открытом космосе

На рис. 4.22 показан пример ТВИ, получаемый в ЦУПе во время проведения научных и прикладных орбитальных экспериментов. Это информация специального ТВ, представленная в виде сюжетов цветного или

черно-белого ТВ, передаваемых видеокамерами из внутренних помещений КА. Основные технические требования, предъявляемые к данному ТВ сюжету – это четкость, контрастность, цветопередача, резкость.



Рисунок 4.22. ТВИ, получаемая в ЦУПе во время проведения научных и прикладных орбитальных экспериментов

На рис. 4.23 показан пример ТВИ, получаемый в ЦУПе во время посадки экипажа. Это информация специального ТВ, представленная в виде сюжетов цветного, передаваемых видеокамерами с борта вертолёта службы спасения, а также с места посадки ТПК «Союз». Основные технические требования, предъявляемые к данному ТВ сюжету – это контрастность, цветопередача, четкость.



Рисунок 4.23. ТВИ, получаемая в ЦУПе во время посадки экипажа КА «Союз»

Изменяя степень сжатия ТВ сигнала и пропускную способность каналов связи, можно добиться минимальной задержки или максимального качества ТВ изображения при более длительной задержке.

Методика интегральной оценки качества ЦТВИ при вводе новых ТВ-систем в эксплуатацию в НКУ РС МКС

На уровне формирования ТВ сигнала обработка сигнала включает в себя: преобразование из оптического изображения в электрический сигнал, затем оцифровку, состоящую из дискретизации (преобразования аналогового сигнала в дискретный), квантования (округление дискретного сигнала, замену величины отсчета сигнала ближайшим значением из набора фиксированных величин) и цифрового кодирования (представление квантованного сигнала в виде набора символов, называемых кодом) [17-18, 26].

На этапе внедрения новых ТВ систем предложено использовать методику интегральной оценки качества ЦТВИ в НКУ РС МКС. Процедура разделена на три этапа.

На первом этапе определяется время задержки ТВ сигнала, при его прохождении по тестируемому ТВ тракту. Для нахождения времени задержки, предлагается использовать специальную тестовую ВП, содержащую счетчик времени. При прохождении ТВ сигнала от источника до ЦУП происходит задержка ТВ сигнала, которая не должна превышать 1с. При высоком уровне задержки необходимо уменьшить ее с помощью настройки различных характеристик сетевого, канального и кодирующего оборудования.

На рис. 4.24 показана схема проведения измерения времени задержки в НКУ РС МКС, на примере канала связи с НИП Улан-Уде.

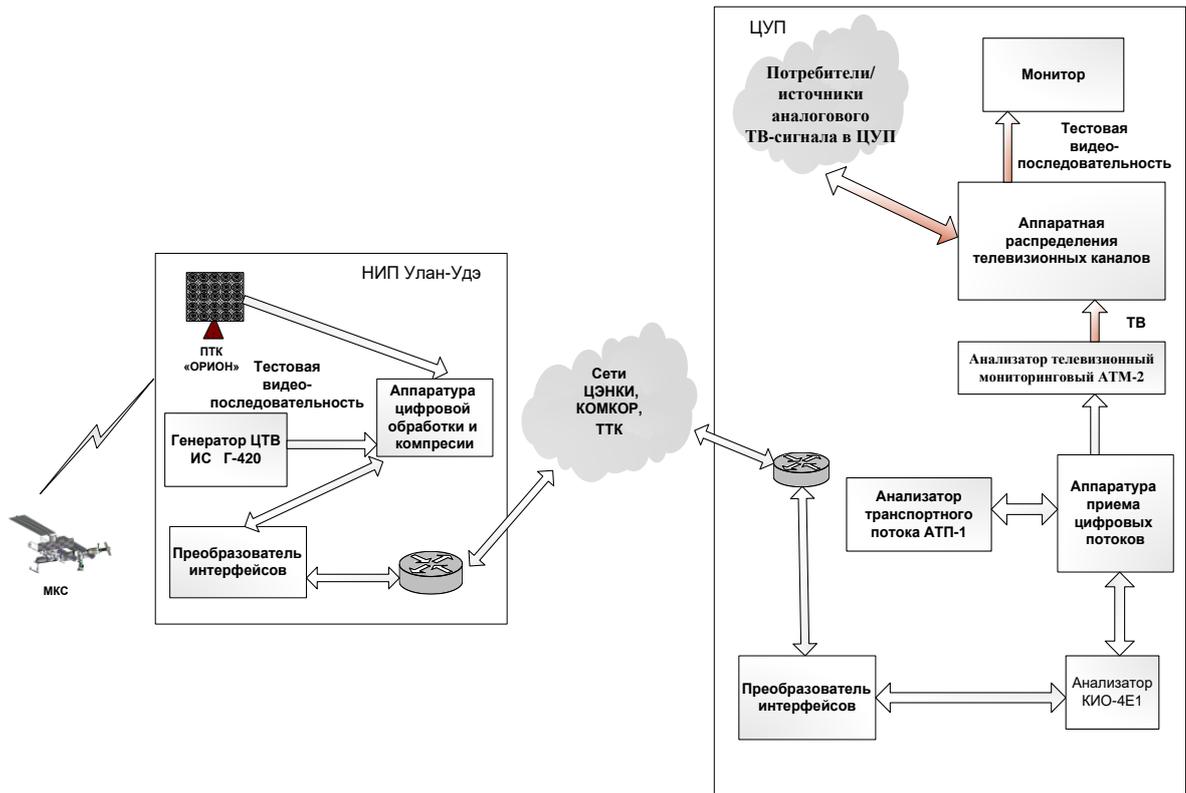


Рисунок 4.24. Схема проведения измерения времени задержки в НКУ РС МКС, на примере канала связи с НИП Улан-Уде

Время прохождения ТВИ от борта до получателя состоит:

$$t_{\text{задер.}} = t_{\text{форм.}} + t_{\text{рад.}} + t_{\text{АЦП}} + t_{\text{код.}} + t_{\text{мульти.}} + t_{\text{передачи}} + t_{\text{демульти.}} + t_{\text{декод.}} + t_{\text{ЦАП}} + t_{\text{дос.}} \quad (1),$$

где $t_{\text{форм.}}$ - формирования ТВ сигнала, $t_{\text{рад.}}$ - время прохождения ТВ сигнала по радиоканалу, $t_{\text{АЦП}}$ - время аналого-цифрового преобразования ТВ сигнала, $t_{\text{код.}}$ - время кодирования цифрового ТВ сигнала, $t_{\text{мульти.}}$ - время мультиплексирования цифрового ТВ сигнала в потоке данных, $t_{\text{передачи}}$ - время передачи по каналам связи потока данных, $t_{\text{демульти.}}$ - время демуплексирования потока данных в цифровой ТВ сигнал, $t_{\text{декод.}}$ - время декодирования цифрового ТВ сигнала, $t_{\text{ЦАП}}$ - время цифро-аналогового преобразования ТВ сигнала, $t_{\text{дос.}}$ - время доставки ТВ сигнала до потребителя.

Для вычисления коэффициента времени задержки, используется формула 1. Соответственно, чем выше значение коэффициента, тем больше задержка при приеме ТВ информации по исследуемому тракту. Если $K_{\text{задер.}}$ превышает 1, тракт считается не пригодным для эксплуатации.

$$K_{\text{задер.}} = \frac{\sum_{i=0}^n t_{\text{з.}}}{n \times t_{\text{max}}} \quad (2),$$

где t_{max} – максимально допустимое значение времени задержки для тестируемого ТВ-тракта, $t_{\text{задер}}$ – значение времени задержки для тестируемого ТВ-тракта, i – номер эксперимента, n – количество экспериментов.

На втором этапе определяется значение объективных экспертиз для ряда тестовых видеопоследовательностей, содержащих сюжеты характерные для контура управления полётами. Для проведения объективных экспертиз, необходимо использовать несколько эталонных изображений, которые будут передаваться по тестируемому ТВ тракту. В ЦУПе должна проводиться оценка качества ТВИ, путем сравнения эталонного и полученного изображения, с использованием ПО «MSU Video Quality Measurement Tool».

В качестве эталонной ВП должны быть использованы смоделированные ВП, эмитирующие ТВИ, полученную во время стыковки, а так же тестовые ВП, предназначенные для оценки качества ЦТВИ, содержащие динамические элементы (рис. 4.25).

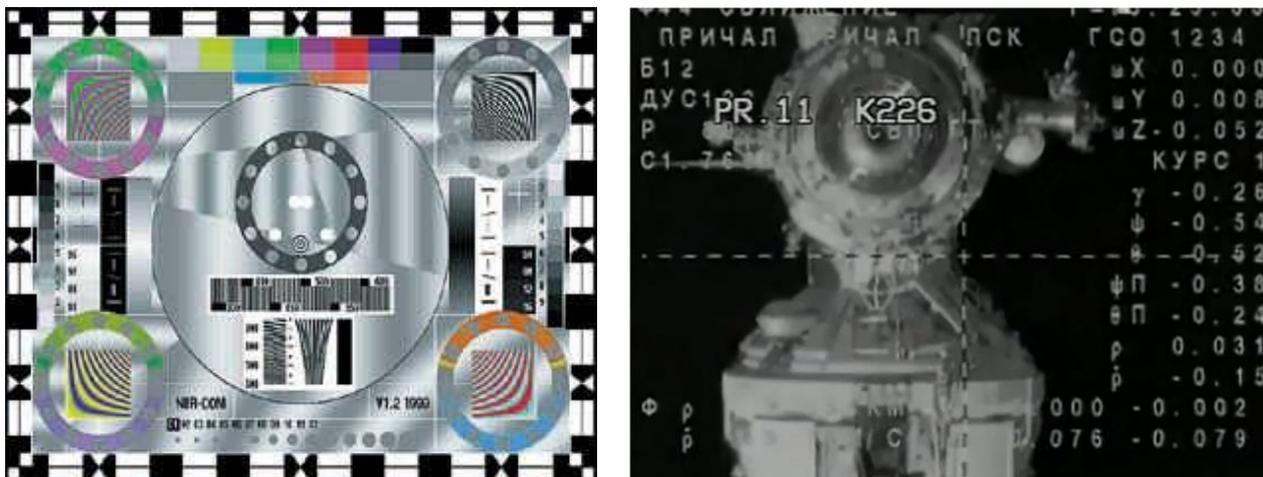


Рисунок 4.25. Примеры тестовых ВП

Данные анализируются и сравниваются с данными представленными в алгоритме анализа качества ЦТВИ. На основе полученных данных принимается решение о качестве ТВ тракта.

Для определения эффективности использования метрик в НКУ РС МКС был проведен ряд экспериментов, состоящих из тестирования изображений и ВП. На первом этапе тестирования к эталонному

изображению были добавлены искажения, характерные для цифрового телевидения (рис. 4.26).

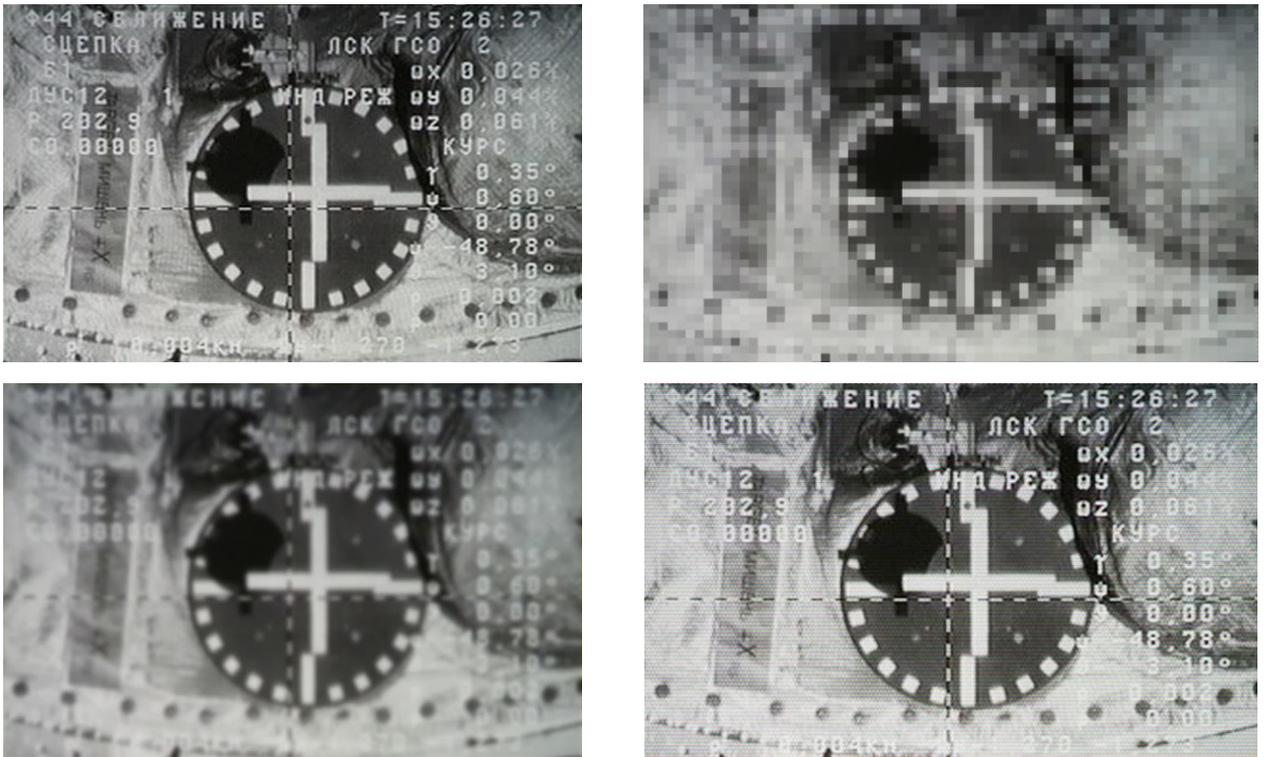


Рисунок 4.26. Примеры обработанных тестовых изображений

На первом этапе тестировались изображения, характеристики которых представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Характеристики тестовых изображений

№ изображения	Сюжет изображения	Разрешение	Эффект
1	старт	500x341	Белый гауссов шум
2			Размытие
3			Блочность
4	стыковка	682x423	Белый гауссов шум
5			Размытие
6			Блочность
7	работа в открытом космосе	676x380	Белый гауссов шум
8			Размытие
9			Блочность

10	репортаж с МКС	874x573	Белый гауссов шум
11			Размытие
12			Блочность
13	посадка экипажа	490x296	Белый гауссов шум
14			Размытие
15			Блочность

На втором этапе тестировались 4 видеосюжета (старт, стыковка, выход в открытый космос, работа на станции), обработанные с различной степенью сжатия (таблица 4.2).

Таблица 4.2. Характеристики тестовых видеосюжетов

№ сюжета	Название видеосюжета	Число кадров	Частота кадров	Разрешение	Степень сжатия
1	старт	257	25	352x288	слабое сжатия
2					среднее сжатие
3					сильное сжатие
4	стыковка	240	25	704x288	слабое сжатия
5					среднее сжатие
6					сильное сжатие
7	работа в открытом космосе	210	25	720x416	слабое сжатия
8					среднее сжатие
9					сильное сжатие
10	репортаж с МКС	234	25	1664x1088	слабое сжатия
11					среднее сжатие
12					сильное сжатие
13	посадка экипажа	218	24	352x288	слабое сжатия
14					среднее сжатие
15					сильное сжатие

Результаты объективных измерений должны хорошо согласовываться с результатами субъективных измерений для той же системы и тех же тестовых последовательностей или программных материалов.

Для определения экспертной оценки качества, представленных тестовых изображений и видеосигналов был использован метод DSIS (попарная оценка ухудшения качества видео) [43-44]. Группа экспертов сравнивает две ВП – искаженную и оригинальную. Длительность теста – 8 с. Наблюдатель оценивает визуальные искажения по пятибалльной шкале. Оценки выставляются в соответствии с пятибалльной шкалой. В таблице 5.3 приведены показатели экспертных оценок качества для тестовых изображений, в таблице 4.4 показатели экспертных оценок качества для тестовых видеосюжетов.

При проведении анализа были протестированы следующие метрики PSNR (пиковое отношение сигнала к шуму), MSE (среднеквадратическая ошибка), MSAD (усреднённая сумма абсолютных разностей), VQM (метрика оценки видео), SSIM (индекс структурного сходства).

PSNR обозначает соотношение между максимальным значением сигнала и мощностью шума, искажающего значения сигнала. Проще всего его определить через среднеквадратичное отклонение (MSE), которое для двух монохромных изображений I и K размера $m \times n$, одно из которых считается зашумленным приближением другого, вычисляется по формуле 3:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2 \quad (3),$$

где $m \times n$ – размер изображения, $I(i, j)$ – исходное изображение, $K(i, j)$ – зашумленное изображение.

$$PSNR = 10 \log_{10} (MAX_I^2 / MSE) = 20 \log_{10} (MAX_I / \sqrt{MSE}) \quad (4),$$

где MAX_I — это максимальное значение, принимаемое пикселем изображения, при разрядности равной 8 бит, $MAX_I = 255$. Для цветных изображений с тремя компонентами RGB MSE считается по всем трем компонентам.

Метрика MSAD используются для определения характеристик цветности [81]. MSAD позволяет измерять соотношение усреднённой абсолютной разности значений цветовых компонент в соответствующих точках сравниваемых изображений. Значение метрики MSAD вычисляется по формуле 5.

$$D(X, Y) = (\sum_{i=1, j=1}^{mn} X(i, j) - Y(i, j)) / mn \quad (5),$$

где $m \times n$ – размер изображения, $X(i, j)$ – исходное изображение, $Y(i, j)$ – зашумленное изображение.

Метрика VQM (метрика оценки видео) вычисляются по более сложным алгоритмам [81]. Изображение разбивается на блоки, каждый из которых получает одну из следующих характеристик: гладкий блок, тонкая текстура, текстура, граница. После чего вычисляются ошибки компенсации, с использованием дискретно-косинусного преобразования.

Метрика SSIM (индекс структурного сходства) основывается на измерение трёх компонент (сходности по яркости, по контрасту и структурного сходства) и объединения их значений в итоговый результат [36,77]. Общая формула имеет вид:

$$SSIM(x, y) = ((2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)) / ((\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)) \quad (6),$$

где μ_x - среднее значение для исходного изображения, μ_y - среднее значение для зашумленного изображения, σ_x - среднеквадратичное отклонение для исходного изображения, σ_y - среднеквадратичное отклонение для зашумленного изображения, $\sigma_{xy} = \mu_{xy} - \mu_x\mu_y$, c_1 и c_2 поправочные коэффициенты, равные квадрату числа, равному количеству цветов, соответствующему данной битности изображения, умноженной на 0.01 и 0.03 соответственно.

Отличительной особенностью метрики, является то, что учитывается "восприятие ошибки", благодаря учёту структурного изменения информации. Идея заключается в том, что пиксели имеют сильную взаимосвязь, особенно когда они близки пространственно. Данные зависимости несут важную информацию о структуре объектов и о сцене в целом.

Таблица 4.3. Показатели экспертных оценок качества для тестовых изображений

№ изображения	Экспертная оценка															Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
2	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5	5	4	5	4	4,47
3	3	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3,33
4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
5	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3,87
6	2	3	2	3	1	2	2	3	2	3	2	2	1	2	3	2,20
7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
8	4	5	5	4	4	5	4	4	4	5	4	5	4	5	4	4,40
9	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3,33
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
11	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4,20
12	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3,33
13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
14	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4	4,27
15	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3,20

Таблица 4.4. Показатели экспертных оценок качества для тестовых видеопоследовательностей

№ видео-сюжета	Экспертная оценка															Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
2	4	5	4	4	4	4	5	4	5	4	5	5	4	5	4	4,40
3	3	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3,33
4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
5	4	3	4	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3,73
6	2	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	3	2,33
7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
8	4	5	5	4	4	5	4	4	4	5	4	5	4	5	4	4,40
9	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3,33
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
11	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4,20
12	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3,33
13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
14	3	4	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4	4,13
15	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3	4	3	3	2,87

Метрика MS-SSIM (индекс структурного сходства по 3 компонентам) основывается на определении трёх компонент: сходности по яркости, по контрасту и структурного сходства, и объединения их значений в итоговый результат [35,78-79].

$$MSSIM(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M SSIM(x_j, y_j) \quad (7),$$

где X - исходное изображение, Y – зашумленное изображение, x_j и y_j – содержимое образа в j частном окне, M – количество частных окон. Метрика основывается на разделении сравниваемых изображений на области - текстуры, края и ровные участки - и учете метрики SSIM в зависимости от области. Зрительная система определяет разницу в качестве изображения на резких участках больше, чем на ровных. Разделение производится попиксельно оценкой градиента в точке.

Метрика ST-SSIM (пространственно-временной индекс структурного сходства) [80]. Идея алгоритма состоит во взвешивании метрики SSIM по направлению движения. Информация о движении вычисляется с помощью блочного алгоритма MSU Motion Estimation. На основе векторов движения строится окно взвешивания для каждого пикселя. Окно может содержать до 33 последовательных кадров. Таким образом, вычисленная метрика SSIM пикселя по этому окну будет учитывать временные искажения.

В таблице 4.5 приведены показатели метрик для тестовых изображений, в таблице 4.6 показатели метрик для тестовых видеосюжетов. Значения оценок качества изображений для метрик SSIM, MS-SIM, ST-SSIM, VQM лежат в интервале $[0,1]$, в котором чем ближе значение метрики к 1, тем выше качество оцениваемого изображения. Значение метрики MSE вычисляется как среднеквадратичное отклонение оцениваемого и эталонного изображений. Соответственно, чем ближе значение метрики к 0, тем ближе оцениваемое изображение к эталону [37].

Для того чтобы количественно оценить объективность метрики, вычислены коэффициенты корреляции между субъективными экспертными

оценками и приведенными значениями объективной метрики для тестовых изображений и видеосюжетов. Этот коэффициент позволяет оценить степень зависимости между величинами (таблица 4.3-4.4).

Расчет коэффициента корреляции Пирсона Формула в соответствии с формулой 8.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{z=0}^h (x_i - x_a) * (y_i - y_a)}{\sqrt{\sum_{z=0}^h (x_i - x_a)^2 * \sum_{z=0}^h (y_i - y_a)^2}} \quad (8),$$

где z – номер, проводимого эксперимента, h – количество экспериментов, x_i – значение характеристики субъективной оценки; x_a – среднее арифметическое для переменной x , y_i – значение характеристики объективной оценки; y_a – среднее арифметическое для переменной y .

Этот коэффициент принадлежит отрезку от -1 до 1 и позволяет оценить степень зависимости между величинами (чем модуль коэффициента больше, тем зависимость сильнее).

При анализе значений перечисленных выше метрик и коэффициентов корреляции можно сделать вывод, что метрики PSNR и MSAD показали низкую корреляцию с субъективными экспертными оценками. Метрики VQM и SSIM, более точно учитывают особенности восприятия человека и лучше согласуются с экспертной оценкой. Наилучшие результаты показали метрики MS-SSIM и ST-SSIM.

Для получения наиболее достоверных результатов, при вводе в эксплуатацию новых телевизионных систем, предлагается использовать метрики MS-SSIM и ST-SSIM.

Коэффициент объективных экспертиз вычисляется в соответствии с формулой 9.

$$K_{OЭ} = \frac{\sum_{z=0}^h D_{ms-ssim}}{2h} + \frac{\sum_{z=0}^h D_{st-ssim}}{2h} \quad (9),$$

где $D_{MS-SSIM}$ - значение метрики MS-SSIM, вычисляется в соответствии с формулой 7, $D_{MS-SSIM}$ - значение метрики MS-SSIM, вычисляется в соответствии с формулой 7, z – номер, проводимого эксперимента, h – количество экспериментов.

Таблица 4.5. Сводные показатели метрик для тестовых изображений

№ ВП	Значение						
	Экспертная оценка	PSNR	MSAD	VQM	SSIM	MS-SSIM	ST-SSIM
1	5	19	0,983	0,927	0,985	0,969	0,997
2	4,4	28	0,608	0,923	0,956	0,927	0,938
3	3,33	36	0,753	0,843	0,811	0,844	0,847
4	5	17	0,914	0,917	0,993	0,955	0,987
5	3,73	39	0,757	0,768	0,983	0,878	0,962
6	2,33	26	0,585	0,643	0,754	0,759	0,701
7	5	11	0,984	0,932	0,984	0,981	0,989
8	4,4	43	0,79	0,845	0,944	0,973	0,932
9	3,33	44	0,632	0,884	0,789	0,879	0,805
10	5	16	0,974	0,923	0,997	0,974	0,988
11	4,2	18	0,883	0,956	0,937	0,979	0,943
12	3,33	37	0,729	0,732	0,862	0,878	0,812
13	5	15	0,947	0,971	0,997	0,99	0,984
14	4,13	26	0,932	0,953	0,983	0,894	0,984
15	2,87	17	0,882	0,713	0,769	0,734	0,721
Коэффициент корреляции		-0,481	0,696	0,840	0,909	0,918	0,927

Таблица 4.6. Сводные показатели метрик для тестовых сюжетов

№ изображения	Значение						
	Экспертная оценка	PSNR	MSAD	VQM	SSIM	MS-SSIM	ST-SSIM
1	5,00	21	0,978	0,938	0,975	0,985	0,989
2	4,47	26	0,648	0,929	0,942	0,903	0,929
3	3,33	38	0,767	0,835	0,821	0,874	0,835
4	5,00	11	0,929	0,926	0,997	0,978	0,985
5	3,87	38	0,746	0,751	0,983	0,867	0,984
6	2,20	45	0,597	0,625	0,754	0,708	0,721
7	5,00	12	0,937	0,912	0,984	0,996	0,991
8	4,40	46	0,768	0,928	0,944	0,983	0,928
9	3,33	47	0,674	0,865	0,789	0,883	0,839
10	5,00	13	0,929	0,926	0,997	0,984	0,986
11	4,20	19	0,869	0,932	0,937	0,982	0,958
12	3,33	32	0,748	0,719	0,862	0,884	0,841
13	5,00	9	0,929	0,926	0,997	0,996	0,979
14	4,27	21	0,947	0,964	0,983	0,912	0,927
15	3,20	13	0,876	0,757	0,769	0,769	0,754
Коэффициент корреляции		-0,657	0,726	0,850	0,910	0,912	0,924

На третьем этапе определяется значение субъективных экспертиз. Для проведения субъективных экспертиз создается экспертная комиссия. Группа экспертов оценивает качество видео, переданное по тестируемому тракту на соответствия требованиям, предъявляемым к ТВ сюжетам в контуре управления КА.

Для проведения субъективных экспертиз создается экспертная комиссия. В качестве тестовых ВП используются специальные испытательных сигналы, а также ЦТВ видеопоследовательности, близкие по характеру к тем, которые используются в НКУ РС МКС, например показанные на рис. 4.27. Должно быть оценено, как минимум 10 различных тестовых ВП.

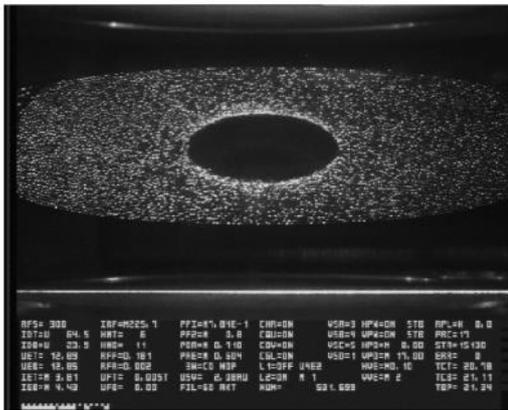


Рисунок 4.27. Примеры эталонных изображений

В результате проведенного в первой главе анализа были определены основные искажения, характерные для сжатой ЦТВИ: блокинг-эффект, эффекта мозаики, эффекта размытия изображения, искажений типа ступеньки, окантовки на границах, зернистый шум, ложные границы, эффект приведения, неправильные цвета, влияние которых должно учитываться экспертами при проведении экспертиз.

Коэффициент субъективных экспертиз вычисляется по формуле 10.

$$K_{c.э.} = \frac{(\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n D_{c.э.}) / mn}{D_{min}} \quad (10),$$

где $D_{c.э.}$ – субъективная оценка качества ВП, D_{min} – минимально допустимое значение субъективной оценка качества, для тестируемого ТВ-тракта, i – номер, проводимого эксперимента, m – количество

экспериментов, j – номер эксперта, участвующего в эксперименте, n – количество экспертов.

На рис. 4.28 представлен алгоритм анализа качества ЦТВИ.

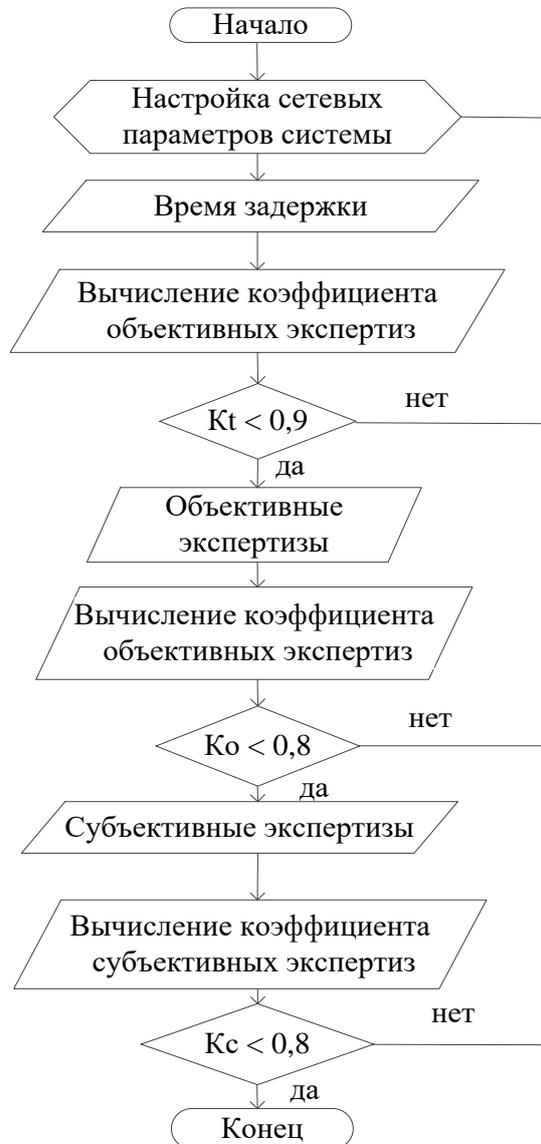


Рисунок 4.28. Алгоритм анализа качества ЦТВИ

Коэффициент единой интегральной оценки качества ТВ тракта вычисляется по формуле 11.

$$K_{\text{оц. кач.}} = K_1 * K_{\text{задер.}} + K_2 * K_{\text{суб. экс.}} + K_2 * K_{\text{об. экс.}} \quad (11),$$

где $K_{1,2,3}$ – весовые коэффициенты, $K_{\text{задер.}}$ – коэффициент времени задержки, $K_{\text{суб. экс.}}$ – коэффициент субъективных экспертиз $K_{\text{об. экс.}}$ – коэффициент объективных.

Для определения весовых коэффициентов был проведен опрос экспертной группы, состоящей из специалистов ГОГУ. Для вычисления

весовых коэффициентов использованы формулы 12 - 14. В таблице 4.7 представлены результаты данного опроса.

$$K_1 = \frac{(\sum_{i=0}^n S1)}{(\sum_{i=0}^n S1) + (\sum_{i=0}^n S2) + (\sum_{i=0}^n S3)} \quad (12),$$

$$K_2 = \frac{(\sum_{i=0}^n S2)}{(\sum_{i=0}^n S1) + (\sum_{i=0}^n S2) + (\sum_{i=0}^n S3)} \quad (13),$$

$$K_3 = \frac{(\sum_{i=0}^n S3)}{(\sum_{i=0}^n S1) + (\sum_{i=0}^n S2) + (\sum_{i=0}^n S3)} \quad (14),$$

где S_1 - значение экспертной оценки степени влияния времени задержки ЦТВИ в НКУ РС МКС, S_2 - значение экспертной оценки степени влияния результатов субъективных экспертиз, S_3 - значение экспертной оценки степени влияния результатов объективных экспертиз, i – номер эксперта, участвующего в эксперименте, n – количество экспертов.

Соответственно коэффициент единой интегральной оценки качества ТВ тракта вычисляется по формуле 15.

$$K_{\text{общ. кач.}} = 0,42 * K_{\text{задер.}} + 0,33 * K_{\text{суб. экс.}} + 0,25 * K_{\text{об. экс.}} \quad (15).$$

Методика оперативного мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС

Методика оперативного мониторинга, необходима для определения качества ЦТВИ в реальном режиме времени. Применение субъективных экспертиз не целесообразно, так как требует присутствия экспертной группы, а также значительных временных затрат. Предлагается производить оценку качества с помощью объективных экспертиз. Эти оценки выполняются с использованием эталонных, неэталонных и псевдоэталонных метрик. Значения оценок качества метрик эталонного класса наиболее приближены к экспертной оценке. Использование эталонных метрик невозможно в режиме реального времени, применение этих метрик имеет очень высокую эффективность на этапе тестирования ТВ системы, а также во время проверок предшествующих сеансу связи.

Таблица 4.7 Вычисление весовых коэффициентов для вычисления единой интегральной оценки качества ТВ тракта

	Экспертная оценка															Весовой коэффициент
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Степень влияния времени задержки ЦТВИ	9	9	8	9	10	10	9	8	9	10	9	10	9	10	9	0,42
Степень влияния результатов субъективных экспертиз	7	8	7	8	7	7	8	8	7	8	6	7	8	8	7	0,33
Степень влияния результатов объективных экспертиз	6	5	6	7	5	7	5	4	6	5	7	4	7	4	5	0,25

Для проведения оперативного мониторинга в реальном масштабе времени предлагается использовать псевдоэталонные метрики. Такие метрики базируются на частичном использовании эталонных образов в композиции с зашумленным сюжетом. Количество тестовой информации существенно меньше, что сокращает процесс обработки информации.

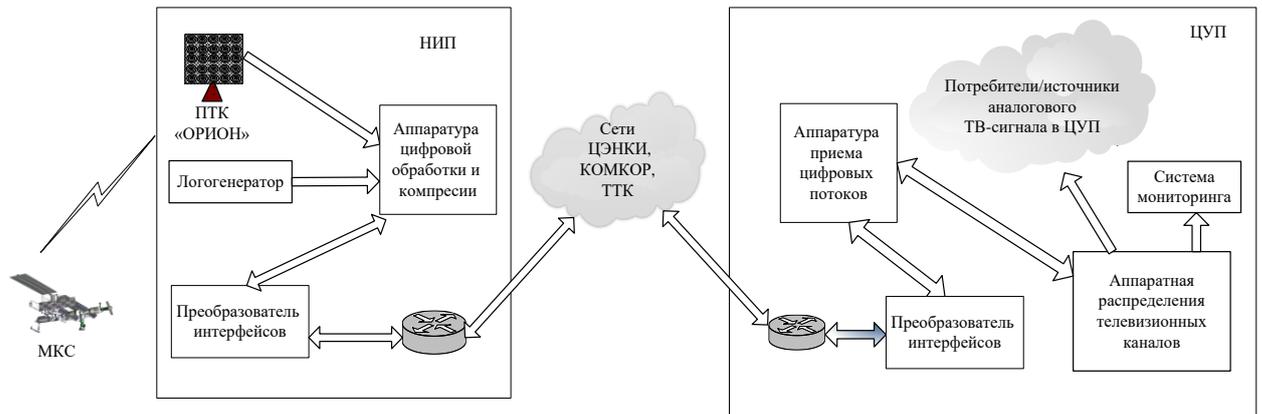


Рисунок 4.29 Схема прохождения ТВИ в НКУ РС МКС

На рис. 4.29 показан пример организации системы оперативной оценки качества ТВИ в НКУ РС МКС с одним из НИП. В реальный видеопоток на НИП встраивается логотип с помощью логогенератора. Полученная ТВИ, передается параллельно на системы распределения и оценки качества, что позволяет не оказывать влияния на время задержки ТВИ, предназначенной для специалистов ГОГУ. В качестве эталонной информации может выступать логотип Государственной Корпорации «Роскосмос» (рис. 4.30).



Рисунок 4.30 Примеры логотипов, использующихся для псевдоэталонных метрик

Алгоритм работы системы мониторинга качества ТВИ в НКУ РС МКС показан на рисунке 4.31. С помощью пространственно-временного индекса структурного сходства ST-SSIM сравниваются два логотипа — эталонный и полученный в реальном видеоизображении.

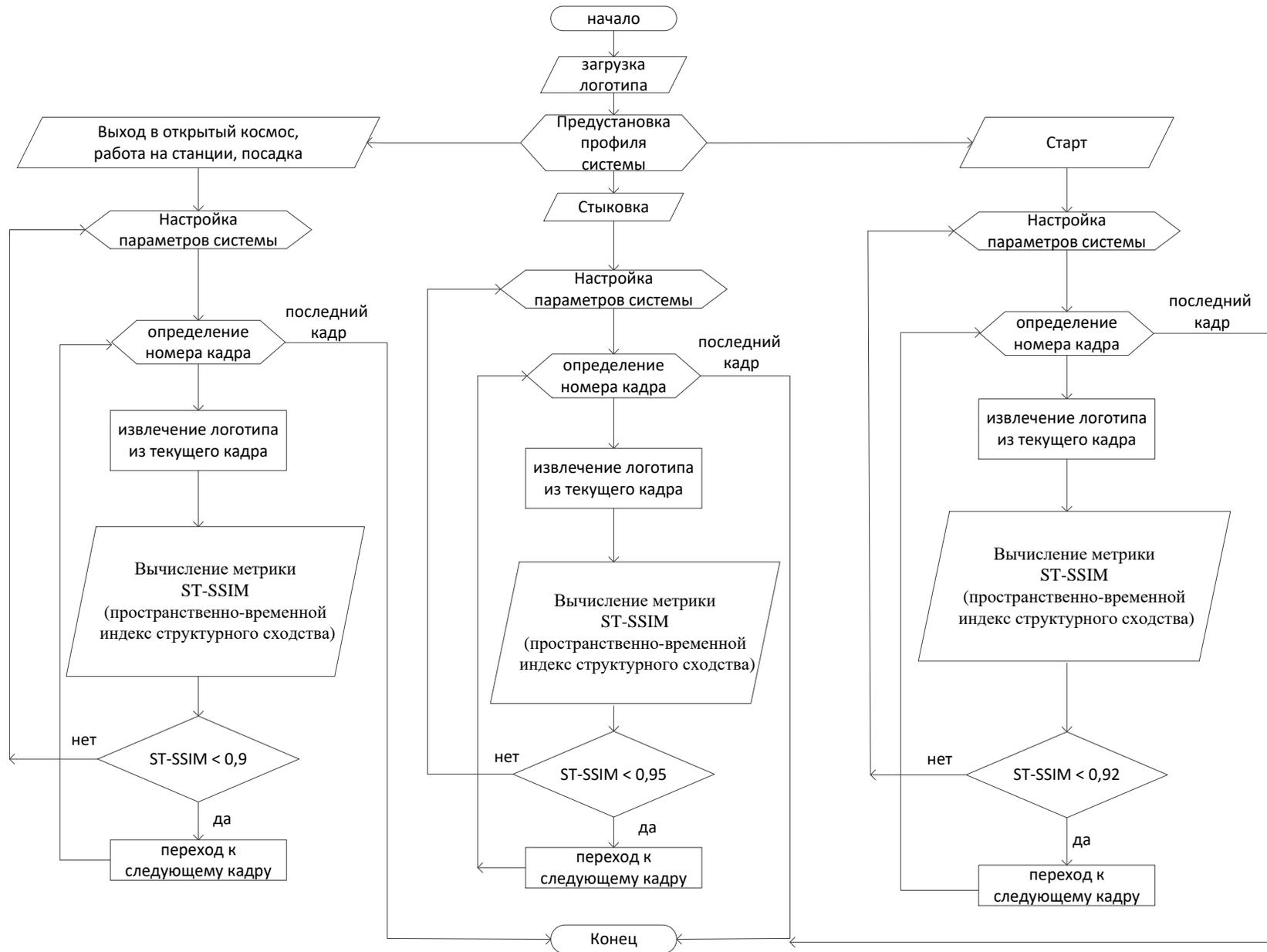


Рисунок 4.31. Алгоритм оперативного мониторинга на уровне форматирования

4.5 Выводы по четвертой главе

В первой части четвертой главы представлена концепция системы многоуровневого мониторинга ТВ тракта в НКУ РС МКС. В рамках данной концепции система мониторинга разделена на три функциональных уровня: уровень формирования, уровень сжатия и уровень распределения.

Во второй части четвертой главы описана методика анализа гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей, которая используется для определения работоспособности ТВ тракта на уровне распределения. На этом уровне необходимо выявить проблем качества в используемых каналах передачи ТВИ.

Описана методика тестирования качества PDH каналов в НКУ РС МКС, используемая на этапе внедрения новых ТВ систем. Определение работоспособности сетей с коммутацией каналов основано на измерение характеристик ошибок за секундные интервалы.

Описана методика тестирования качества IP каналов. Для определения работоспособности сетей с коммутацией пакетов предлагается проводить тестирование на определение производительности сети и уровня потери пакетов при параллельной загрузке каналов связи. Описана методика поиска неисправных элементов при возникновении нештатных ситуаций, описывающая процесс поиска с перерывом в работе сети.

Описана методика оперативного мониторинга PDH каналов в НКУ РС МКС. На этом уровне необходим непрерывный контроль значений коэффициентов секундных интервалов, в которых имеется один или несколько блоков с ошибками, а также значений коэффициентов секундных интервалов, в которых имеется более 30% утерянных или ошибочных пакетов.

Описана методика оперативного мониторинга IP каналов в НКУ РС МКС. В режиме реального времени необходимо проводить постоянный контроль каналов связи. Для каналов связи, использующих технологию организации соединения с коммутацией пакетов, необходим непрерывный контроль уровня потерь пакетов, времени прохождения пакетов и времени разброса прохождения пакетов.

Расчет всех технических характеристик, используемых в описанных методиках был проведен в соответствии с международными рекомендациями.

Все расчеты были подтверждены экспериментально во время проведения комплексных испытаний ТВ систем в НКУ РС МКС.

В третьей части четвертой главы описана методика, использующийся для определения работоспособности ТВ тракта на уровне сжатия. На этом уровне необходимо выявить проблемы, которые могут возникнуть во время процесса кодирования и декодирования.

Приведен алгоритм мониторинга ТП, соответствующий приоритету первого уровня анализирующий данные, необходимые для декодирования потока, такие как потеря синхронизации, ошибки синхробайта, ошибки РАТ. Приведен алгоритм мониторинга ТП, соответствующий приоритету второго уровня анализирующий данные, важные для обеспечения устойчивой работы системы в целом, включает в себя параметры для непрерывного и периодического мониторинга. Приведен алгоритм мониторинга ТП, соответствующий приоритету третьего уровня анализирующий параметры, необходимые для работы отдельных приложений, которые требуются только в специальных случаях.

Расчет всех технических характеристик, используемых в описанных методиках, проведен в соответствии с международными рекомендациями. Все расчеты подтверждены экспериментально во время проведения комплексных испытаний ТВ систем в НКУ РС МКС.

В четвертой части пятой главы описаны методики мониторинга и оценки качества ЦТВИ в НКУ РС МКС на уровне форматирования. Сформулированы основные требования к ТВИ при её использовании при получении различных сюжетов (старт, стыковка, работа в открытом космосе, репортаж с МКС, посадка экипажа).

Описана методика интегральной оценки качества ЦТВИ в НКУ РС МКС, предназначенная для определения работоспособности программно-технических средств ТВ тракта при вводе новых ТВ-систем в эксплуатацию.

На первом этапе определяется времени задержки ТВ сигнала, при его прохождении по тестируемому ТВ тракту. Для этого предлагается использовать специальную тестовую ВП, содержащую счетчик времени. При высоком уровне

задержки необходимо уменьшить ее с помощью настройки различных характеристик сетевого, канального и кодирующего оборудования.

На втором этапе определяется значение объективных экспертиз для ряда тестовых видеопоследовательностей, содержащих сюжеты характерные для контура управления полётами. При проведении тестирования сравниваются две видеопоследовательности эталонная и полученная при передаче по тестируемому ТВ тракту, с помощью объективных метрик.

Для определения эффективности использования метрик был проведен эксперимент, состоящий из тестирования изображений и ВП. При анализе были протестированы следующие метрики MSE, PSNR, MSAD, VQM, SSIM, MS-SSIM, ST-SSIM.

Результаты объективных измерений должны хорошо согласовываться с результатами субъективных измерений для той же системы и тех же тестовых видеопоследовательностей. Для определения экспертной оценки качества, представленных тестовых изображений и видеосигналов использован метод попарной оценки ухудшения качества видео. Для того чтобы количественно оценить объективность метрик, был вычислен коэффициент корреляции между субъективными оценками и приведенными значениями объективной метрики. Наилучшие результаты показал индекс структурного сходства по 3 компонентам и пространственно-временной индекс структурного сходства.

На третьем этапе определяется значение субъективных экспертиз. Для проведения субъективных экспертиз создается экспертная комиссия. Группа экспертов оценивает качество видео, переданное по тестируемому тракту на соответствия требованиям, предъявляемым к ТВ сюжетам в контуре управления КА.

Описана методика оперативного мониторинга ЦТВИ на уровне форматирования. Для решения этой задачи предложено использовать объективные псевдоэталонные метрики. Такие метрики базируются на частичном использовании эталонных образов в композиции с зашумленным сюжетом. Количество тестовой информации существенно сокращается, при этом увеличивается скорость обработки информации, анализа и принятия решений. В качестве псевдоэталонной последовательности предлагается использовать встраиваемый в видеосюжет логотип Государственной Корпорации «Роскосмос». С помощью пространственно-временного индекса структурного сходства

сравниваются два логотипа – эталонный и полученный в реальном видеоизображении. На выходе системы мониторинга будет получена объективная оценка качества ТВ контента, которая позволит судить о работе ТВ системы.

Заключение

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Проведен анализ развития системы приема ТВИ, используемой для управления КА. Выполнен анализ структурных элементов системы приема ЦТВИ в НКУ РС МКС.

2. Выполнен анализ современных методов оценки и мониторинга качества ЦТВИ. Проанализированы ТВ искажения и причины их вызывающие. Проведен комплексный анализ структуры, характеристик и параметров испытательных изображений.

3. Разработана специализированная инструментальная среда для создания модели ТВ системы в НКУ РС МКС, в которую входят система моделирования серверной инфраструктуры на базе ПО VMWare и система моделирования сетевой инфраструктуры на базе ПО GNS3. Модель ТВ системы в НКУ РС МКС является аналогом реальной системы, в котором характер протекания основных процессов подобен протеканию тех же процессов в реальной системе.

4. Реализована модель системы мониторинга ТВ тракта на уровне распределения и сжатия на основе ПО PRTG, и система объективной оценки качества ЦТВИ на уровне форматирования на базе ПО MSU VQMT.

5. Разработана концепция системы оперативного многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ. В зависимости от процессов, протекающих на различных этапах формирования ТВ сигнала, система мониторинга разделена на три функциональных уровня: формирования, сжатия и распределения.

6. Разработаны методики тестирования и мониторинга гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей на уровне распределения.

7. На основании сравнительного анализа результатов измерений различных характеристик транспортного уровня разработаны методики оценки качества ТП, предназначенные для анализа качества ТВ тракта на уровне кодирования.

7. Сформулированы основные требования для различных сюжетов, использующихся при обеспечении операций по управлению полетами КА.

8. Разработана методика интегральной оценки качества ЦТВИ, предназначенная для анализа качества ЦТВИ на уровне форматирования.

9. Разработана методика оперативного мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС в реальном масштабе времени.

10. Экспериментально проверены полученные результаты.

11. Среди направлений для дальнейших исследований стоит отметить доработку методик мониторинга ЦТВИ, на уровне форматирования, сжатия и распределения для обеспечения нужд проектируемых ТВ систем в НКУ РС МКС.

12. Цели исследования, поставленные в диссертационной работе, достигнуты, и все поставленные задачи – решены.

Список сокращений и условных обозначений:

BAT -	таблица групп программ
DMOS -	разница между оценками тестируемого и эталонного видео
DSIS -	попарная оценка ухудшения качества видео
DSCQS -	непрерывная оценка качества по результатам двух просмотров
E1 -	цифровой поток передачи данных, соответствующий первичному уровню европейского стандарта иерархии PDH
ES (Errored second) -	количество секунд с ошибками, в течение каждой из которых наблюдалась хотя бы одна ошибка
ES (Elementary Stream) -	элементарные потоки
ESR -	коэффициент ошибок по секундам с ошибками
EIT -	таблица событий
ID -	идентификационный номер
Инмарсат BGAN -	широкополосная Глобальная Сеть
MOS -	абсолютно субъективное понятие
MPLS -	технология коммутации пакетов с использованием меток , присоединенных к пакету IP
MSE -	среднеквадратическая ошибка
MS-SSIM -	индекс структурного сходства по 3 компонентам
MSAD -	усреднённая сумма абсолютных разностей
NIT -	таблица сетевой информации
PAL -	построчное изменение фазы (система аналогового цветного телевидения)
PAT -	таблица привязки программы

PMT -	таблица структуры программ
PQR -	Оценка качества изображения
PID -	флаги и идентификаторы пакета
PCR -	программная тактовая частота
PES -	MPEG-пакетизированные элементарные потоки
PSNR -	пиковое отношение сигнала к шуму
QoE -	качество восприятия услуг
RST -	таблица запущенных программ
SECAM -	последовательный цвет с памятью (система аналогового цветного телевидения)
SDI -	Последовательный цифровой интерфейс
SI -	сервисная информация
SSIM -	степень структурного сходства
ST-SSIM -	пространственно-временной индекс структурного сходства
SW-SSIM -	индекс структурного сходства с использованием ориентированного комплексного вейвлет-преобразования
SES -	количество секунд, в течение каждой из которых установлено более 30% ошибок
SESR -	коэффициент ошибок по секундам, пораженных ошибками
SSCQE -	непрерывная оценка качества
SDT -	таблица описания сервисной информации
TOT -	таблица смещения времени
TS -	транспортный поток
VPN -	виртуальная частная сеть
АС -	антенные системы
АПЦП -	аппаратура приема цифровых потоков

АТМ-2 -	анализатор телевизионный мониторинговый
АЦП -	аналого-цифровое преобразование
БРК -	бортовой радио комплекс
ВОЛС -	волоконно-оптические линии связи
ВНА -	всенаправленная антенна
ВП-	видеопоследовательность
ДКП -	дискретно-косинусное преобразование
ЕЦП -	единый цифровой поток
КА -	космические аппараты
КСО -	комплекс коллективных средств отображения
КМС-	комплексно-моделирующий стенд
МКС -	Международная космическая станция
МССПД -	мультисервисная система связи и передачи данных
НИП -	наземно-измерительный пункт
НКУ -	наземный комплекс управления
ОС -	операционная система
ОЦК -	основной цифровой канал типовой цифровой канал со скоростью передачи сигналов 64 кбит/с
ПЭВМ -	персональная электронно-вычислительная машина
ПТК -	приемный телевизионный комплекс
РС МКС -	Российский сегмент Международной космической станции
РПТС -	радиопередающие телевизионные станции
ССС -	система спутниковой связи
ТВИ -	телевизионная информация
ТМИ -	телеметрическая информация
ТГК -	транспортный грузовой корабль
ТПК -	транспортный пилотируемый корабль
ТКА -	транспортный космический аппарат

ТП -	транспортный поток
ТТК -	ТрансТелеКом
ЦСТ -	цифровой сетевой тракт
ЦУП -	центр управления полетами
ЦЭНКИ -	Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры
ЦТВИ-	цифровая телевизионная информация

Список литературы:

1. *Ватолин Д., Раушняк А., Смирнов М., Юкин В.* Методы сжатия данных. М.: Диалог-МИФИ, 2003.
2. *Вегешна Ш.* Качество обслуживания в сетях IP – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 368 с
3. *Гласман К.* Цифровое наземное телевизионное вещание: ATSC-DVB-ISDB// 625, №4, 1999, с. 66-70.
4. *Гонсалес Р., Вудс Р.,* Цифровая обработка изображений // М.: Техносфера, 2005.
5. *Дворкович А.В. и др.* Испытательные таблицы для измерения качества цифрового и аналогового телевизионного вещания//625, №8,1999, с.36-42.
6. *Джакония В.Е.,* Телевидение – М.: Радио и связь. 1997.
7. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам. — Ижевск: РХД, 2001. — 464 с.
8. *Карякин В.Л.* Цифровое телевидение. – М.: СОЛОН-ПРЕС, 2008. – 272с.
9. *Кривошеев М.И.* Основы телевизионных измерений. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Радио и связь, 1989, 608 с.
10. *Кривошеев М.И.* Перспективы развития телевидения. М.: Радио и связь, 1982.
11. *Кривошеев М.И.* Международный стандарт цифрового кодирования радио и телевидения (ОИРТ), 1983, №1, с.13, 1985 №6 с. 25.

12. *Малла С.* Вэйвлеты в обработке сигналов. — М.: Мир, 2005. — 672 с.
13. *Новаковский С.В., Котельников А.В.* Новые системы телевидения: Цифровые методы обработки видеосигналов. М.: Радио и связь, 1992.
14. *Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральных и внутризональных первичных сетей.* – Минсвязи РФ, 1996.
15. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы СПб., 2006 г.
16. *Пескин А.Е., Труфанов В.Ф.* Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы. Справочник: – М.: Горячая линия – Телеком, 2004.– 308с.
17. *Седова Т.Б.* Временные границы применения телевизионных устройств // Тезисы докладов 58 студенческой научно-технической конференции. М.: «Инсвязьиздат», 2003, с. 8.
18. *Седова Т.Б.* Телевизионная регистрация быстропротекающих процессов // Тезисы докладов 59 студенческой научно-технической конференции. М.: «Инсвязьиздат», 2004, с. 8.
19. *Скляр Б.* Цифровая связь. – М: Вильямс, 2003.
20. *Смирнов А.В.* Основы цифрового телевидения.– М.: Горячая линия – Телеком, 2001.– 224с.
21. *Сэломон Д.* Сжатие данных, изображений и звука. М., Техносфера, 2004
22. *Устинов В.А., Клементьев И.П.* Введение в облачные вычисления 2-е изд. — М.: Интуит, 2016. — 311 с.
23. *Хаимов В.З.* SDI/SDTI в иерархии последовательных цифровых интерфейсов// Broadcasting, - 2000. - №1. – с. 50-53.
24. *Чеботарев А.В. Шелудяк Т.Б.* Интегральная среда моделирования, предназначенная для систем мониторинга цифровой телевизионной информации. «Космонавтика и ракетостроение», № 2 (81), 2015.
25. *Чеботарев А.В. Шелудяк Т.Б.* Методика оценки качества цифровой ТВ информации в контуре оперативного управления космическими аппаратами. «Космонавтика и ракетостроение», № 5 (84), 2015.

26. *Шелудяк Т.Б.* Модель системы приёма цифровой телевизионной информации в наземном комплексе управления космическими аппаратами. – Труды МАИ, вып. 103, 2018. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=100816>.

27. *Шелудяк Т.Б.* Методы постобработки видеосигналов, полученных по каналам связи малой информативности. Сборник материалов научно-технического семинара «Перспективные разработки и идеи XXI века в области космонавтики», М.: «ИПК Машприбор», 2008, с.23-26

28. *Шелудяк Т.Б.* Возможности использования виртуализации для создания и испытания системы оперативного мониторинга ТВ информации. Сборник статей IV Научно-технической конференции молодых ученых и специалистов Центра управления полетами, ЦНИИмаш, 2014 г., с.257-273

29. *Шлихт Г.Ю.* Цифровая обработка цветных изображений : Пер. с нем. М.: ЭКОМ, 1997.

30. *Штейнберг В.Л.* Видеостандарты (Сигналы, форматы, стыки). – М.:Snell & Wilcox. 1997. – 106 с.

31. Benchmarking Methodology for Network Interconnection Devices, RFC 2544, March 1999.

32. ETSI EN 300 468: “Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems”.

33. ETSI TR 101 154: “Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, cable and terrestrial broadcasting applications”.

34. ETSI TR 101 211: “Digital Video Broadcasting (DVB); Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI)”.

35. *Fechter F.* Objective Beurteilung der Qualitaet komprimierter Bildfolgen: Ein heuristisch optimiertes Modell. Fernseh- und Kino-Technik,1998, N7,s.417

36. *Feng Xiao.* DCT-based Video Quality Evaluation IEEE Signal Processing Letters, 2000

37. *Freeman W.T., Adelson E.H.* The design and use of steerable filters// IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1991.– V. 13. – P. 891-906.

38. IEEE Std 802.3, 2000 Edition The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
39. ISO/IEC – 13818. MPEG-2 standards. Parts 1-11, 2004.
40. ISO/IEC 13818-4: “Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information – Part 4: Conformance testing “.
41. ISO/IEC 13818-9: “Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information – Part 9: Extension for real time interface for systems decoders”.
42. ISO/IEC-11172 Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about Mbit/s. 1993.
43. ITU-R Recommendation BT.601-6. Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios.01.07.
44. ITU-R. Recommendation BT.500-12 Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.
45. ITU-T P.800. Methods for subjective determination of transmission quality. 2009.
46. ITU-T Rec. G.827. Availability parameters and objectives for path elements of international constant bitrate digital paths at or above the primary rate 1996.
47. ITU-T Recommendation G.703.Physical/Electrical Characteristics of Hierarchical Digital Interfaces. 1991.
48. ITU-T Recommendation G.821 Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an integrated services digital network. 1996.
49. ITU-T Recommendation G.826 Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the primary rate. 1999.
50. ITU-T Recommendation I.122. Integrated Services Digital Network (ISDN) General Structure. 1988.
51. ITU-T Recommendation I.380 Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters

52. ITU-T Recommendation I.430. Integrated Services Digital Network (ISDN). User – Network Interfaces – Layer 1 Specification. 1995.
53. ITU-T Recommendation I.431. Integrated Services Digital Network (ISDN). User – Network Interfaces – Layer 1 Recommendations. 1997.
54. ITU-T Recommendation Q.921 (I.441). Integrated Services Digital Network (ISDN). User – Network Interfaces – Layer 2 Specification. 1997.
55. ITU-T Recommendation Q.931/I.451. Integrated Services Digital Network (ISDN). User – Network Interfaces – Layer 3 Specification for Basic Call Control. 1998.
56. ITU-T Recommendation Y.1231 IP Access Network Architecture
57. ITU-T Recommendation Y.1291. An Architectural Framework for Support of Quality of Service in Packet Networks. 2004.
58. ITU-T Recommendation Y.1540. IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters//December 2002.
59. ITU-T Recommendation Y.1541 Network performance objectives for IP-based services
60. ITU-T Recommendation M2100 Performance limits for bringing in to service and maintenance of international PDH paths, sections and transmission systems. 1995.
61. ITU-T Recommendation M2101 Performance limits for bring in g in to service and maintenance of international SDH paths and multiplex sections. 1997.
62. ITU-T Recommendation M2120. International multi-operator paths, sections and transmission systems fault detection and localization procedures. 2002
63. ITU-T SG-12 Recent Activities of QoS/QoE.
64. Modern image quality assessment. – N.Y.: Morgan & Claypool, 2006.
65. Recommendation ITU-T E.802 – Принципы и методики определения и применения параметров QoS, 2007 г.
66. Recommendation ITU-T Y.1541. Network Performance Objectives for IP Based Services. 2011.
67. Recommendation M.2100 Bringing into service international digital paths, sections and transmission systems.

68. Recommendation RFC 2205 Resource ReSerVation Protocol (RSVP).1997.
69. Recommendation RFC 2326 Real Time Streaming Protocol (RTSP). 1998.
70. Recommendation RFC 2833. RTP Payload for DTMF Digits, Telephony Tones and Telephony Signals. 2000.
71. Recommendation RFC 3031. Multiprotocol Label Switching Architecture. 2001.
72. Recommendation RFC 3551. RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. 2003.
73. Recommendation RFC 3605 Real Time Control Protocol (RTCP) attribute in Session Description Protocol (SDP). 2003.
74. Recommendation RFC 3611 RTP Control Protocol Extended Reports (RTCP XR). 2003.
75. Recommendation RFC 7826 Real-Time Streaming Protocol Version 2.0. 2016.
76. Recommendation Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. ITU-T. – 2007.
77. Wang Z., and Q. Li, “Video quality assessment using a statistical model of human visual speed perception,” J. Opt. Soc. Am. A 24, B61–B69 - 2007.
78. Wang Z., Bovik A. C. “A universal image quality index,” IEEE Signal Processing Letters, vol. 9, pp. 81–84, Mar. 2002.
79. Wang Z., Bovik A. C., Hamid Rahim Sheikh, P. Simoncelli, Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity, IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, vol. 13, pp.600–612, Apr. 2004.
80. Wang Z., Bovik A. C., Sheikh H. R. and Simoncelli E. P., “Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4 (2004)
81. Wang Z., Simoncelli E.P. Translation insensitive image similarity in complex wavelet domain // IEEE Inter. Conf. Acoustic, Speech and Signal Processing. – Philadelphia, 2005. – V. 2. – P. 673–676.