

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)

Автореферат

*диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Москва, 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель: **Почукаев Владимир Николаевич** - доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГУП «ЦНИИмаш», по совместительству, профессор кафедры «Системный анализ и управление» Аэрокосмического института Московского авиационный институт (национальный исследовательский университет).

Официальные оппоненты: **Кукушкин Сергей Сергеевич** - доктор технических наук, профессор, заместитель начальника отдела АО «РКС».

Севастьянов Дмитрий Анатольевич - кандидат технических наук, заместитель директора по телекоммуникационному и информационному обеспечению ФГУП «ЦЭНКИ».

Ведущая организация: Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (АО "НПО Лавочкина").

Защита состоится «20» июня 2019 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.12 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)» и на сайте www.mai.ru/events/defence/.

Автореферат разослан «_____» _____ 2019 г.

Отзывы, заверенные печатью, просим высылать по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4., Ученый совет МАИ.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 212.125.12



А.В. Старков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Создание и развитие информационных средств является одним из направлений повышения эффективности управления космическими аппаратами (КА). 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), транспортно-пилотируемых кораблей (ТПК) "Союз", транспортно-грузовых кораблей (ТГК) "Прогресс" 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», транслировались на НИП Щелково, где происходила оценка, полученных ТВ сигналов и коммутация выбранного ТВ сигнала в ЦУП. Основными недостатками при использовании аналоговых ТВ систем является высокий уровень шумов и помех, высокий уровень избыточности сигнала, низкий уровень безопасности сигнала.

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).

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

- при передаче всех видов функциональной информации (баллистической, телеметрической, ТВ, командно-программной и голосовой) 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. Принципиально существовало несколько путей решения возникших вопросов. Первый – это метод 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 (цифровую телевизионную) 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., Пескина А.Е., Кривошеева М.И., Котельникова В.А., Гласмана К.Ф., Новаковского С.В., Ватолина Д.С., Смирнова А.В. Теория измерений ЦТВИ рассмотрена в работах Дворковича В.П., Олифера В.Г., Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R. и Simoncelli E.P.

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

Задачи исследования:

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 ЦТВИ 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 использованием математического аппарата, по 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 внедрение новых 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, 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 ТВ 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.

Апробация результатов работы. По теме диссертации опубликовано пять работ, из них три в рецензируемых изданиях 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 РСК «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.

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 наименование.

Личный вклад. Все результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. В работах [1,2], 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, обработке, анализе и обобщении полученных результатов и формулировке выводов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования диссертационной работы, охарактеризовано состояние исследуемого вопроса, сформулированы цель и задачи работы. Сформулированы научная новизна, практическая значимость результатов работы и положения, выносимые на защиту. Представлены состав работы, сведения об апробации работы и публикациях автора.

В первой главе проводится анализ всех составляющих элементов схемы приема ЦТВИ. Проведен анализ методов оценки качества ЦТВИ в мировой и отечественной практике. Рассмотрены основные ТВ искажения, объективные и субъективные методы оценки видеoinформации.

Комплекс программно-технических средств ТВ каналов связи в НКУ РС МКС обеспечивает: формирование ТВ-сигнала с внутренних и внешних телекамер 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.

Во второй главе описан процесс создания модели цифровой ТВ системы в НКУ РС МКС. Модель системы приёма ЦТВИ, предназначена для анализа процессов формирования, кодирования, сжатия и передачи по каналам связи ЦТВИ, поступающей с РС МКС, а также ТПК «Союз» и ТГК «Прогресс», обеспечивающих работу космической станции.

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 разработанной 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.

В интересах изучения схемы прохождения ЦТВИ в НКУ РС МКС, разработана модель ТВ системы, состоящая из следующих элементов (рис.1):

- 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;

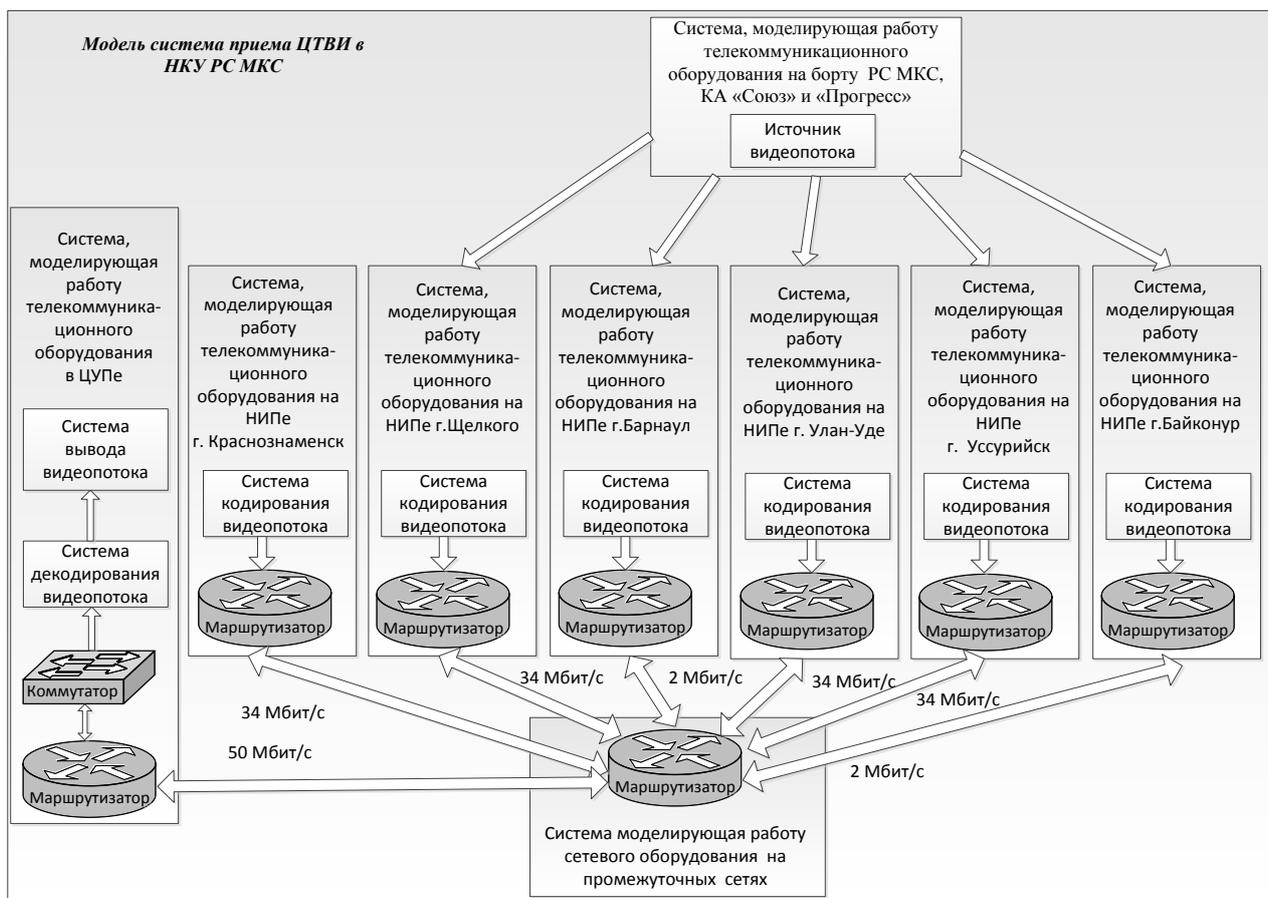


Рисунок 1. Структурная схема модели ТВ системы в НКУ РС МКС

- 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.

Модель ТВ системы в НКУ РС МКС реализована на основе выбранной системы виртуализации серверного оборудования (ПО VMWare) и системы эмуляции сетевых структур (ПО GNS3).

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 видеокамеры на плату видеозахвата. Второй способ это использование записанных и смонтированных видеопоследовательностей (ВП), соответствующих сюжетам характерным для НКУ РС МКС. Эта функция реализована на базе ПО Vegas Pro и ПО VLC Player . Работа системы компрессии была смоделирована с помощью ПО Virtual Dub. Для проведения тестирования использовались различные коэффициенты сжатия.

После настройки всех компонентов системы проведена ее отладка и тестирование. Проверка номинальных условий проведена для 6 сценариев использующихся в НКУ РС МКС (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.

В третьей главе описан процесс создания проектируемой системы многоуровневого мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС. Реализация системы мониторинга ЦТВИ функционально делиться на две части: мониторинг на уровне распределения и компрессии, мониторинг на уровне форматирования.

Разработка модели системы мониторинга ЦТВИ в НКУ РС МКС, включает в себя следующие процессы: формирование требований к аппаратно-программным средствам (АПС), анализ и выбор ПО, предназначенного для реализации системы мониторинга, установка ПО мониторинга, настройка

агентов системы мониторинга на устройствах сети, конфигурация сенсоров, настройка системы оповещения.



Рисунок 2. Структурная схема модели мониторинга ЦТВИ

На рис. 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;

- 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.

Для реализации системы объективной оценки качества ЦТВИ (уровень форматирования) было выбрано ПО MSU Video Quality Measurement Tool, которое позволяет использовать 24 метрики, такие как SSIM (индекс структурного сходства), PSNR (пиковое отношение сигнала к шуму), VQM (метрика оценки видео), а также специально разработанные метрики для измерения степени блочности и резкости. Представлен процесс реализации системы оценки качества ЦТВИ на базе ПО MSU VQMT. Описан процесс создания и конфигурирования системы (рис.3).

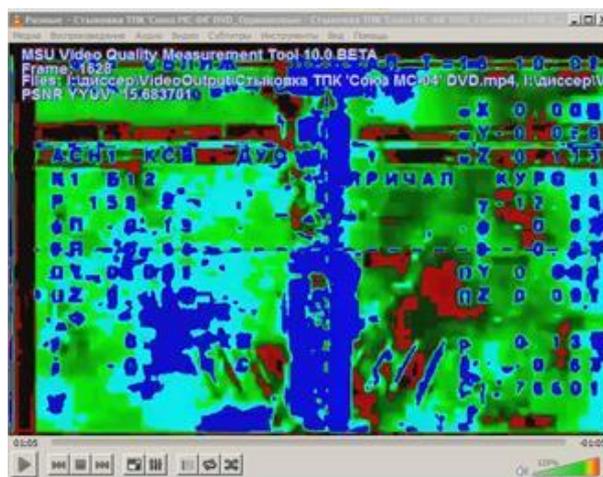


Рисунок 3. Пример работы модели системы оценки качества ЦТВИ

Для реализации системы мониторинга на уровне сжатия и распространения выбрано ПО PRTG. Эта система обладает большим набором способов мониторинга различных сетевых устройств и серверов. В работе представлен процесс реализации системы мониторинга и конфигурирования сенсоров сетевой инфраструктуры.

Для информирования операторов системы мониторинга могут использоваться следующие способы: вывод цветового сообщения об ошибке на мониторы управления, вывод звукового сигнала, отправка e-mail сообщения оператору с сообщением о параметрах неисправности, отправка SMS сообщения для информирования оператора с кратким описанием неисправности.

Тестирование отказов в ТВ системе в НКУ РС МКС, производилось при моделировании следующих аварийных нештатных ситуаций: обрыв каналов

связи (смоделировано путем программного удаления кабелей между интерфейсами устройств, в виртуальной сетевой среде, созданной на основе ПО GNS3), отключение оборудования (отключение сетевых элементов с помощью команды *Stop* или *Reload* в программной среде GNS3), перегрузка канала трафиком (моделирование потоков трафика на уровне 50%, 75%, 100% от общей полосы канала передачи данных с помощью команды *rate-limit*), потеря пакетов при передаче видеосигнала (рассогласование параметров дуплекса оборудования канала передачи данных), наложение помех разного вида на источник сигнала (использование программных способов смешивания видеосюжетов). Методом перебора различных ситуаций были определены причины, которые могут влиять на стабильность работы ТВ системы и качество получаемой ТВ информации.

В четвертой главе описаны методики многоуровневого мониторинга ТВ тракта в НКУ РС МКС. На основе данных полученных в ходе экспериментов, проведенных на базе разработанных моделей, выполнен комплексный анализ структуры, характеристик и параметров ТВ тракта. Определено, что наибольшее влияние на качество ТВ сигнала оказывают три процесса: формирование аналогового ТВ сигнала, цифровое кодирование с последующим сжатием и распределение по цифровым каналам связи. На основе данных проведенного анализа была разработана концепция многоуровневого мониторинга ТВ тракта. В рамках данной концепции предложено разделить систему мониторинга на три функциональных уровня: формирования, сжатия и распределения.

Для определения работоспособности ТВ тракта на уровне распределения, разработана методика тестирования и мониторинга гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей. Информация поступает в ЦУП по наземным и спутниковым каналам связи с использованием различных технологий их организации, таких как коммутация пакетов и коммутация каналов.

Для проверки каналов связи при вводе новых ТВ систем в эксплуатацию предлагается использовать методику тестирования гетерогенных цифровых

телекоммуникационных сетей. На данном этапе необходимо проводить полный анализ работоспособности всех компонентов, из которых состоит ТВ тракт. При возникновении нештатных ситуаций в работе действующих систем, также необходимо проводить полное и всестороннее исследование, с целью выявления источника проблемы.

Для определения работоспособности сетей с коммутацией пакетов предлагается проводить тестирование в три этапа. Процедуры производятся вне реального времени. На первом этапе тестирования проводится 10 % загрузка канала. Необходимо передать не менее 500 пакетов максимального размера - 1400 байт. На втором этапе тестирования проводится 55 % загрузка канала, передается не менее 300 пакетов. На данном этапе необходимо проверить возможность передачи пакетов всех типовых размеров: 64, 128, 256, 512, 1024, 1280 и 1400 байт. На третьем этапе тестирования проводится 75 % загрузка канала, передается не менее 2000 пакетов, проверяется возможность передачи пакетов двух размеров: 64 и 1400 байт. При этом необходимо контролировать следующие показатели: IPTD (задержка доставки IP пакета), IPDV (вариация задержки IP пакета), IPLR (процент потери IP пакетов), IPER (процент ошибок пакетов IP).

Определение работоспособности сетей с коммутацией каналов основано на измерение характеристик ошибок за секундные интервалы. Процедура тестирования проходит в два этапа, вначале тестируется тракт на наличие критических ошибок, таких как количество секунд с ошибками (ES) и количество секунд, в которых более 30% ошибок (SES) в течение 15 минут. На втором этапе тестирование проводится в течение суток. Значение коэффициента ошибок по секундам ES равно количеству секундных интервалов, в которых имеется один или несколько блоков с ошибками. Значение коэффициента ошибок по секундам с ошибками SES равно количеству секундных интервалов, в которых имеется более 30% утерянных или ошибочных пакетов

Для постоянного контроля каналов связи предложено использовать методику мониторинга гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей. Мониторинг осуществляется в режиме реального времени, во время проведения оперативных работ.

Для каналов связи, использующих технологию организации соединения с коммутацией пакетов, необходим непрерывный контроль следующих параметров: определение уровня потери пакетов, разброса времени прохождения по каналу связи и времени прохождения пакета для каналов связи. Для каналов связи, использующих технологию организации соединения с коммутацией каналов, необходим непрерывный контроль следующих параметров: секунды с ошибками, секунды со значительными ошибками, относительная величина секунд со значительными ошибками и относительная величина фоновых блочных ошибок. При разработке методик были определены основные параметры, которые необходимо контролировать, а также были вычислены значения этих параметров соответствующих различным режимам работы ТВ системы в НКУ РС МКС.

Для определения работоспособности ТВ тракта на уровне сжатия, разработана методика мониторинга ТП цифровых ТВ систем, ориентированных на обеспечение операций по управлению полетами КА. На этом уровне необходимо выявить проблемы, которые могут возникнуть во время процесса кодирования и декодирования ТВ сигнала. Вне реального времени необходимо проводить глубокий анализ структуры ТП на битовом уровне, с помощью больших MPEG-файлов.

Для проведения мониторинга используются следующие методики:

- методика мониторинга ТП, соответствующая приоритету первого уровня, анализирует данные, необходимые для декодирования потока. Процедура разделена на шесть этапов. На данном уровне необходимо контролировать такие ключевые характеристики как отсутствие потери синхронизации, ошибки приема байта синхронизации, ошибки таблицы

соединения, ошибки непрерывности счета, ошибки таблицы структуры программ, ошибки в определении идентификации пакета.

- методика мониторинга ТП, соответствующая приоритету второго уровня, анализирует данные, важные для обеспечения устойчивой работы системы в целом, включает в себя параметры для непрерывного и периодического мониторинга. Процедура разделена на шесть этапов. На данном уровне необходимо контролировать отсутствие ошибок в транспортном пакете, ошибок циклического контроля всех таблиц, ошибок в передаче сигнала синхронизации задающего генератора, ошибок недопустимого ухода частоты сигнала синхронизации, ошибок меток времени представления и ошибок таблицы условного доступа.

- методика мониторинга ТП, соответствующая приоритету третьего уровня, анализирует данные, необходимые для работы отдельных приложений. Процедура разделена на тринадцать этапов. На данном уровне необходимо контролировать отсутствие ошибок таблицы сетевой информации текущего и других потоков, ошибок повторения частоты повторений сервисной информации таблиц вне указанных пределов, ошибок буфера обмена, ошибки таблицы описания сервисной информации тестируемого и других потоков, ошибки таблицы событий текущего и других потоков потока, отсутствию ошибки таблицы запущенных программ, ошибки таблицы описания сервисной информации, ошибки опустошения транспортного буфера, ошибки задержки передачи.

Для определения работоспособности ТВ тракта на уровне форматирования разработана методика анализа и мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС. Основной особенностью ТВ системы в НКУ РС МКС является наличие различных требований к характеристикам ТВИ при различных сюжетах, а так же быстрая смена настроек, при смене сюжетов. Приведены основные характеристики, которые необходимо учитывать при мониторинге различных сюжетов: *старт* - задержка, цветопередача, непрерывность, *стыковка* - задержка, четкость, разборчивость символов, *выход в открытый космос* -

контрастность, яркость, *репортаж с орбиты* - контрастность, яркость, *проведение научных и прикладных орбитальных экспериментов* - четкость, контрастность, цветопередача, резкость, *посадка экипажа* - контрастность, цветопередача, четкость.

Для определения работоспособности программно-технических средств ТВ тракта при вводе новых ТВ-систем в эксплуатацию предлагается использовать методику интегральной оценки качества ЦТВИ в НКУ РС МКС. Тестирование предлагается проводить в три этапа. На первом этапе необходимо вычислить времена задержки ТВ сигнала. 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 предлагается вычислить значение объективных экспертиз для ряда тестовых ВП, содержащих сюжеты характерные для контура управления полётами. При проведении тестирования сравниваются две ВП эталонная и полученная при передаче по тестируемому ТВ тракту, с помощью объективных метрик.

Существует множество объективных метрик, значение которых значительно различаются в зависимости от видов искажений видеосигнала. Для определения эффективности использования метрик в НКУ РС МКС проведен эксперимент, состоящий из тестирования изображений и ВП. В ходе эксперимента к тестируемым изображениям добавлены наиболее характерные для цифрового сжатого видео искажения. Тестируемые видеосюжеты были подвергнуты сжатию с использованием различных коэффициентов. Объективный анализ проведен с применением метрик PSNR (пиковое отношение сигнала к шуму), MSAD (определение характеристик цветности), VQM (метрика оценки видео), SSIM (индекс структурного сходства), MS-SSIM (индекс структурного сходства по 3 компонентам), ST-SSIM (пространственно-временной индекс структурного сходства).

Результаты объективных измерений должны хорошо согласовываться с результатами субъективных измерений для той же системы и тех же тестовых ВП. Для определения экспертной оценки качества, представленных тестовых изображений и видеосигналов использован метод DSIS (попарная оценка ухудшения качества видео). Для того чтобы количественно оценить объективность метрик, вычислен коэффициент корреляции между субъективными оценками и приведенными значениями объективной метрики для тестовых изображений и видеосюжетов. Наилучшие результаты показали метрики MS-SSIM и ST-SSIM. Для получения наиболее достоверных результатов, при вводе в эксплуатацию новых ТВ систем, предлагается учитывать результаты оценки тракта обеими методиками.

На третьем этапе предлагается вычислить значение субъективных экспертиз. Для проведения данных процедур создается экспертная комиссия. В качестве тестовых ВП используются специальные испытательных сигналы, а также ВП, близкие по характеру к тем, которые используются в НКУ РС МКС. Должно быть оценено, как минимум 10 различных тестовых ВП, характерных каждому видеосюжету (например, старт, стыковка и т.д.). Тестирование проводится по методу MOS (абсолютно субъективное понятие). Группа экспертов оценивает качество видео, переданное по тестируемому тракту на соответствия требованиям, предъявляемым к ТВ сюжетам в контуре управления КА.

Для постоянного контроля качества ЦТВИ предложено использовать метод оперативного мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС, который осуществляется в режиме реального времени. Для мониторинга ЦТВИ на уровне форматирования. Предложено использовать объективные 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. В качестве псевдоэталонной последовательности предлагается использовать встраиваемый в видеосюжет логотип

Государственной Корпорации «Роскосмос». С помощью пространственно-временного индекса структурного сходства (ST-SSIM) сравниваются два логотипа – эталонный и извлеченный из полученного видеоизображения. На выходе системы будет получена объективная оценка качества ЦТВИ, которая позволит судить о работе ТВ системы.

В заключении приводятся основные выводы по результатам выполненной работы.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Реализована виртуальная модель цифровой 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.

2. 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.

3. Разработана концепция системы оперативного многоуровневого мониторинга качества ЦТВИ.

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

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

6. Сформулированы основные требования для различных сюжетов, использующихся при обеспечении операций по управлению полетами КА. Разработана методика интегральной оценки качества ЦТВИ, предназначенная для анализа качества ЦТВИ на уровне форматирования. Разработана методика оперативного мониторинга качества ЦТВИ в НКУ РС МКС в реальном масштабе времени.

7. Эффективность разработанных методик многоуровневого мониторинга качества ТВ тракта подтверждена на практике результатами их использования при проведении внедрения и дальнейшей эксплуатации технических средств ТВ связи в НКУ РС МКС.

8. 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.

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

Основное содержание исследование отражено в следующих публикациях.

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Чеботарев А.В. Шелудяк Т.Б. Интегральная среда моделирования, предназначенная для систем мониторинга цифровой телевизионной информации. – Космонавтика и ракетостроение, вып. 2 (81), 2015, с.70- 76.

2. Чеботарев А.В. Шелудяк Т.Б. Методика оценки качества цифровой ТВ информации в контуре оперативного управления космическими аппаратами. – Космонавтика и ракетостроение, вып. 5 (84), 2015, с.47-52.

3. 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>.

Публикации в других научных изданиях:

4. 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, с.257-273

5. 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