

УДК 517.938:621.397.2

Модель системы приёма цифровой телевизионной информации в наземном комплексе управления космическими аппаратами

Шелудяк Т.Б.

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,

ул. Пионерская, 4, Королёв, 141070, Россия

e-mail: stb@mcc.rsa.ru

Аннотация

На основе выбранных систем виртуализации и эмуляции серверного и сетевого оборудования разработана модель системы приёма цифровой телевизионной информации в составе наземного комплекса управления российским сегментом МКС. Приводится описание разработанной модели, а также технологии ее использования при тестировании действующих и перспективных систем передачи цифровой ТВ-информации.

Ключевые слова: системы виртуализации, системы эмуляции сетевого оборудования, модель системы приёма цифровой телевизионной информации.

Введение

При управлении космическими полетами в большом объеме используется телевизионная информация (ТВИ). Она используется для наблюдения за действиями космонавтов во время полета, для передачи информации о сближении и стыковке

космического корабля с орбитальной станцией, при выходе в открытый космос, для демонстрации сложных и продолжительных научных и прикладных орбитальных экспериментов и исследований в условиях невесомости. Информация, получаемая специалистами главной оперативной группы управления (ГОГУ) в центре управления полетами (ЦУП) во время ТВ сеансов, играет важную роль при принятии повседневных управленческих решений, во время проведения динамических операций, и, особенно, при возникновении нештатных ситуаций.

В настоящее время идет поэтапный процесс модернизации системы приема ТВИ в наземном комплексе управления космическими аппаратами (НКУ КА). В 2008 году осуществлен переход на использование цифровых каналов связи для передачи ТВ-сигнала от наземных измерительных пунктов (НИП) до ЦУП. В 2016 году осуществлен переход на использование цифровой телевизионной (ЦТВ) системы на борту модернизированного транспортно-пилотируемого корабля (ТПК) "Союз", транспортного грузового корабля (ТГК) "Прогресс", а также проводятся работы на борту российского сегмента международной космической станции (РС МКС).

В дальнейшем планируется переход на использование малокадрового цифрового телевидения, которое позволит получать информацию с борта РС МКС, а также ТПК "Союз" и ТГК "Прогресс" в едином цифровом потоке (ЕЦП). По проекту цифровые сигналы каналов файлового обмена, телефонии, телеметрической информации и малокадрового телевидения будут объединяться и передаваться на

аппаратуры каналообразования, преобразующую непрерывные потоки в пакеты ЕЦП.

На наземных станциях, находящихся в зоне радиовидимости космического объекта, 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].

При внедрении цифровых технологий в НКУ РС МКС возникли новые задачи:

1. Во время проведения комплексных испытаний технических средств системы информационного обмена широкополосной информацией в НКУ РС МКС, потери информации в канале связи превышали 80 %. Это происходило из-за возникновения сбоев на сетевом оборудовании. При этом существующие системы тестирования каналов связи не позволяли объективно оценить качество полученной информации и обнаружить неисправные элементы сети. Необходима доработка системы тестирования.

2. Для гарантии качества цифровой телевизионной информации (ЦТВИ) 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 КА.

3. 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. Необходимы новые методы оценки качества ТВ-изображения [3-6].

В связи с этим появилась необходимость в создании модели, имитирующей работу телекоммуникационного оборудования реальной системы связи в НКУ КА, модели процесса мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта, а также модели системы оценки качества ЦТВИ в НКУ КА [7-10].

Требования, предъявляемые к моделям системы приема ЦТВИ, мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта и оценки качества ЦТВИ в НКУ КА:

- адекватность – способность отражать необходимые свойства объекта;
- универсальность – возможность использования модели для анализа большого количества типовых объектов и их элементов;
- экономичность – затраты и ресурсы, требуемые для реализации;

- точность – степень совпадения значений характеристик реального объекта и значения этих характеристик полученных с помощью моделей.

Концепция создания модели системы приёма ЦТВИ в НКУ КА

На рис. 1 приведена схема прохождения ЦТВИ в НКУ КА, которая представляет собой сложную гетерогенную сеть передачи данных, состоящую из спутниковых и наземных каналов связи. При использовании представленной схемы цифровой ТВ-сигнал передается в ЦУП по системе информационного обмена широкополосной информации в НКУ КА на базе магистральной цифровой сети связи (МЦСС) с использованием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и систем спутниковой связи (ССС).

В данное время в НКУ КА используется два вида сигналов, содержащих ТВ информацию. 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 принимается также черно-белое ТВИ, содержащее комбинированное изображение, формируемое видеокамерой внешнего обзора и совмещенное с телеметрией. Последнее используется при стыковках КА ТПК «Союз» и ТГК «Прогресс» с РС МКС.

Комплекс программно-технических средств ТВ каналов связи в НКУ КА 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.

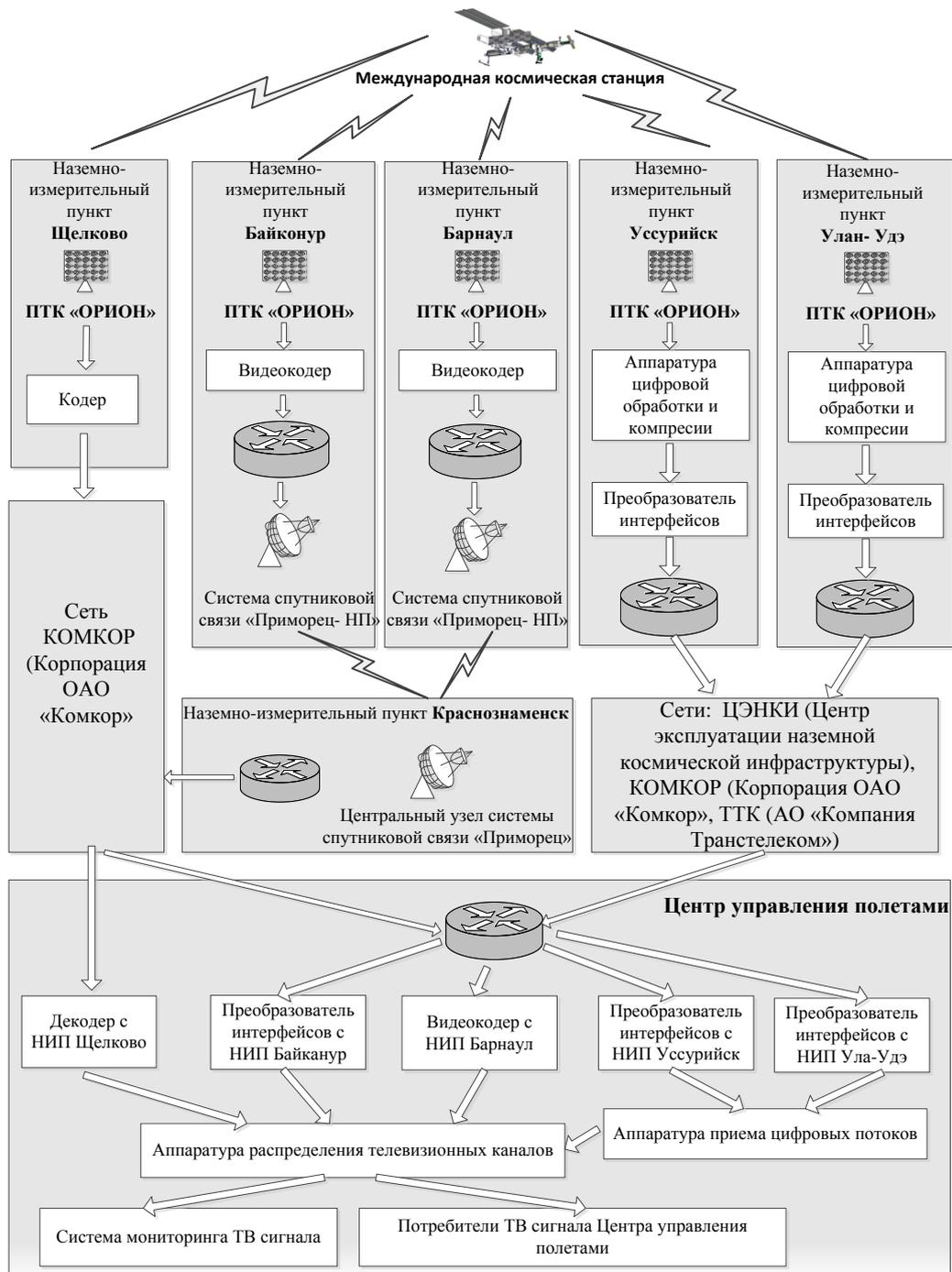


Рис. 1. Схема прохождения ЦТВИ в НКУ КА

В интересах изучения схемы прохождения ЦТВИ в НКУ КА, представленной на рис. 1, разработаны модели системы приема ЦТВИ, мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта и оценки качества ЦТВИ в НКУ КА, состоящие из следующих элементов (рис.2):

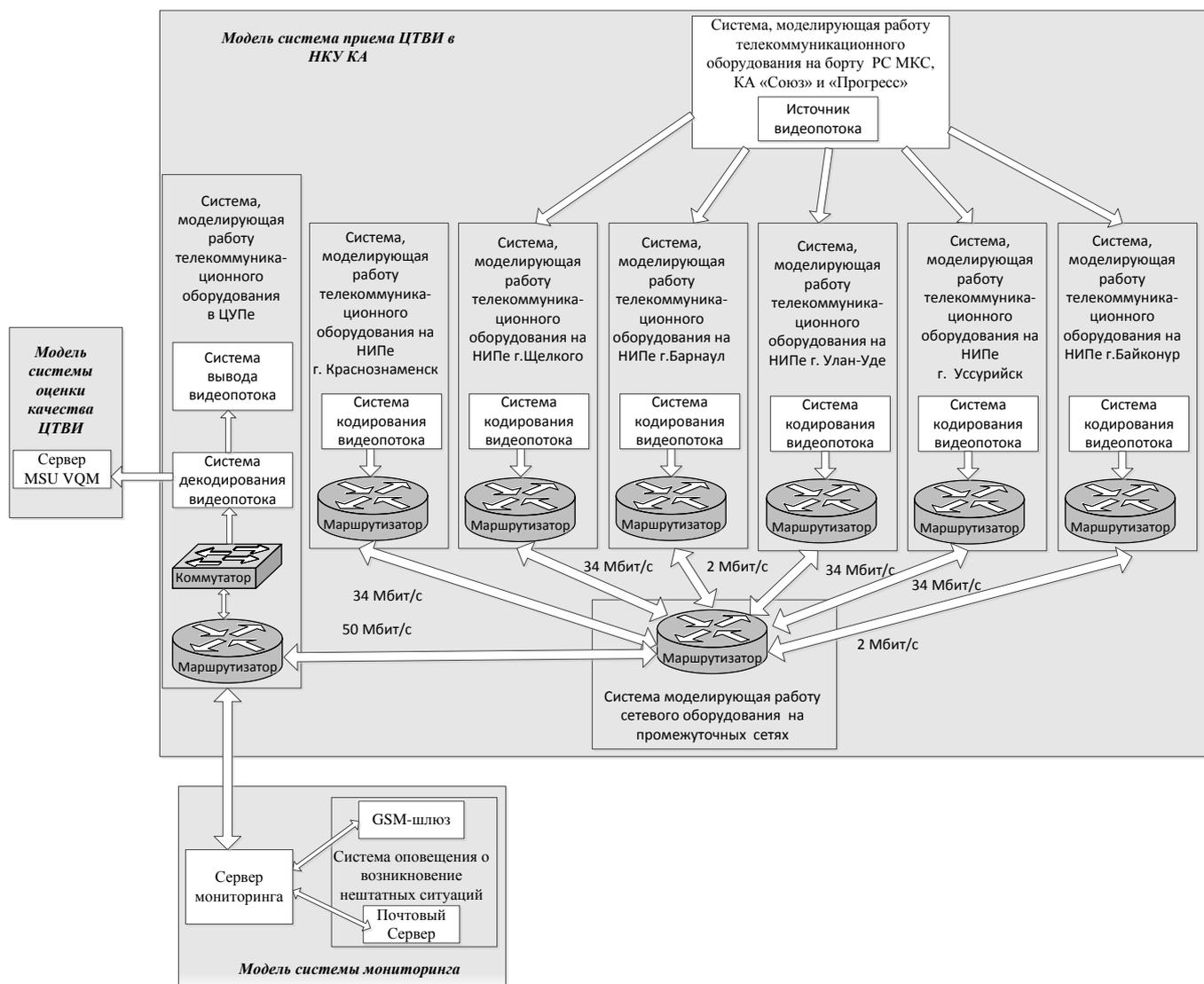


Рис. 2. Модели системы приёма ЦТВИ, мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта и оценки качества ЦТВИ в НКУ КА

- системы, моделирующей работу телекоммуникационного оборудования на борту РС МКС, КА ТПК «Союз» и ТКК «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;

- 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.

Получатель видеопотока	Источник видеопотока	PRTG	
Гостевая ОС Windows	Гостевая ОС Windows	Гостевая ОС Windows	Управление
GNS3		Гипервизор VMWare Workstation	
Хостовая ОС Windows 7			
Физический сервер (ПК)			

Рис. 3. Схема многослойной виртуальной платформы

Модели системы приема ЦТВИ, мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта и оценки качества ЦТВИ в НКУ КА реализованы на базе многослойной виртуальной платформы. На рис. 3 представлена схема такой многослойной виртуальной платформы. 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.

Для моделирования работы сетевого оборудования требовалось создать специальную модельную сетевую инфраструктуры, на базе которой можно создать модель сети передачи данных. Для моделирования работы оборудования генерирующего видеопоток, систему кодирования, мониторинга и оценки качества ЦТВИ, требовалось создать специальную модельную серверную инфраструктуры.

Принципиальная схема процесса разработки моделей системы приёма ЦТВИ, мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта и оценки качества ЦТВИ в НКУ КА, представлена на рис. 4.

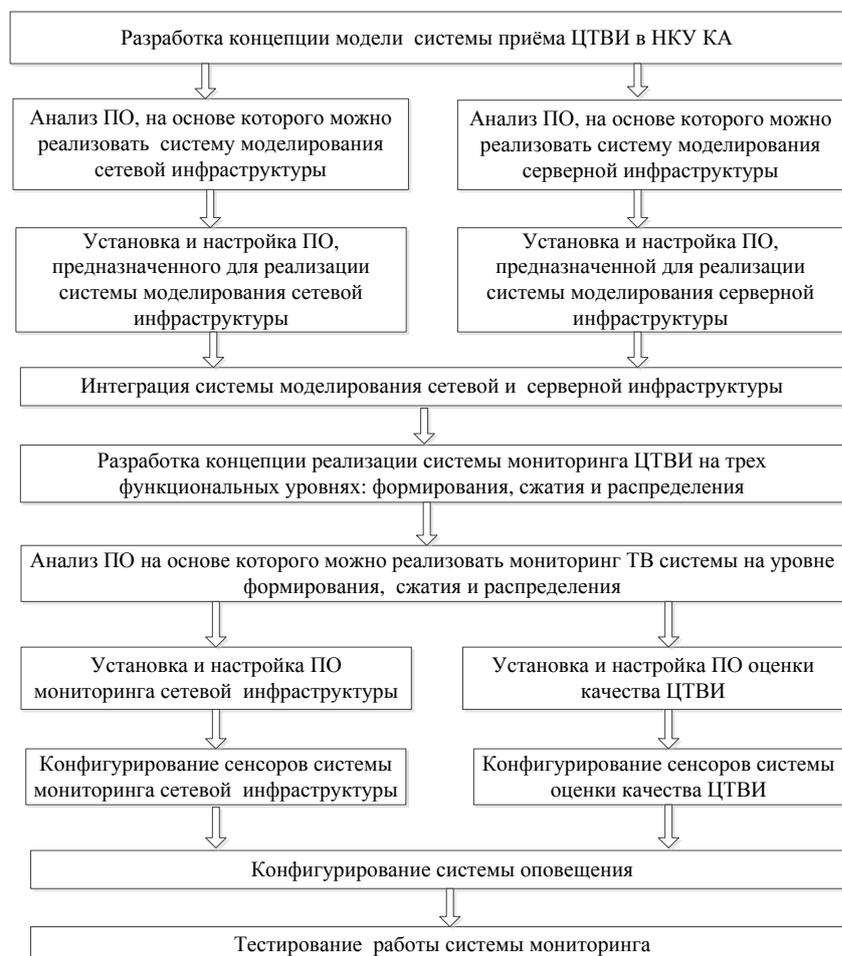


Рис. 4. Принципиальная схема процесса разработки моделей системы приёма ЦТВИ, мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта и оценки качества ЦТВИ в НКУ КА

Реализация системы моделирования серверной инфраструктуры

Для создания серверной части модели системы приема ЦТВИ в НКУ КА использована виртуальная среда моделирования.

При выборе программного обеспечения (ПО) для реализации системы приема ЦТВИ в НКУ КА рассмотрены следующие платформы виртуализации: Microsoft Virtual PC, VMWare Workstation и Oracle VirtualBox.

Microsoft Virtual PC- ПО виртуализации для ОС Windows, который позволяет пользователям одновременно запускать несколько ОС на одном компьютере. VMware Workstation –среда виртуализации, используемая поверх большого количества других ОС и тесно интегрируемая с хостовой ОС. Oracle VirtualBox - ПО виртуализации, совместимое с различными ОС. Поддерживает формат виртуальных машин VMWare. ПО VMware Workstation и Oracle VirtualBox имеют возможность интеграции в среду эмуляции сетевой инфраструктуры GNS3. В результате проведенного анализа было выбрано ПО VMWare Workstation.

Для реализации модели системы приёма ЦТВИ, мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта и оценки качества ЦТВИ в НКУ КА 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.

На рис. 5 представлено итоговое окно конфигурирования виртуальной машины с помощью системы VMWare Workstation.

В результате в виртуальном пространстве создана модельная серверная инфраструктура необходимая для реализации модели приема ЦТВИ в НКУ КА.

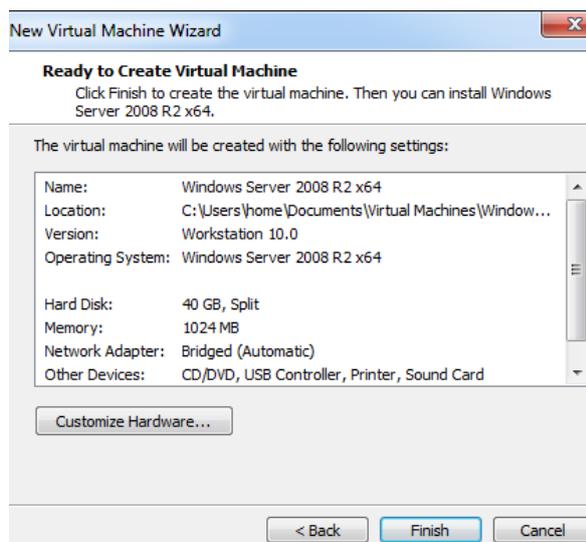


Рис. 5. Итоговые параметры виртуальной машины

Реализация системы моделирования сетевой инфраструктуры

В качестве системы эмуляции сетевой инфраструктуры рассматривались 2 системы: Cisco Packet Tracer и GNS3.

ПО Cisco Packet Tracer позволяет быстро создать комплексные сетевые схемы и проводить тестирование базовых сетевых сервисов, но не позволяет произвести полную интеграцию с серверами и источниками видеопотока, функционирующими в виртуальном пространстве.

ПО GNS3 позволяет разворачивать сложные сетевые схемы и использовать в схемах оборудование различных производителей, например Cisco, Juniper, Mikrotik, CheckPoint и др. Уникальной возможностью данной системы является полнофункциональная интеграция сетевой части с гипервизорами VMWare и Oracle VirtualBox. Эмулируются все основные компоненты устройства, в том числе процессор, память и устройства ввода/вывода.

Для создания сетевой части системы моделирования выбрана система GNS3.

Для моделирования сетевых устройств использованы версии ПО маршрутизаторов, благодаря чему полностью смоделирована сетевая среда и наборы команд в привязке к конечной версии ПО маршрутизаторов.

Для реализации сетевой инфраструктуры модели системы приема ЦТВИ в НКУ КА выполнены следующие работы:

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

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

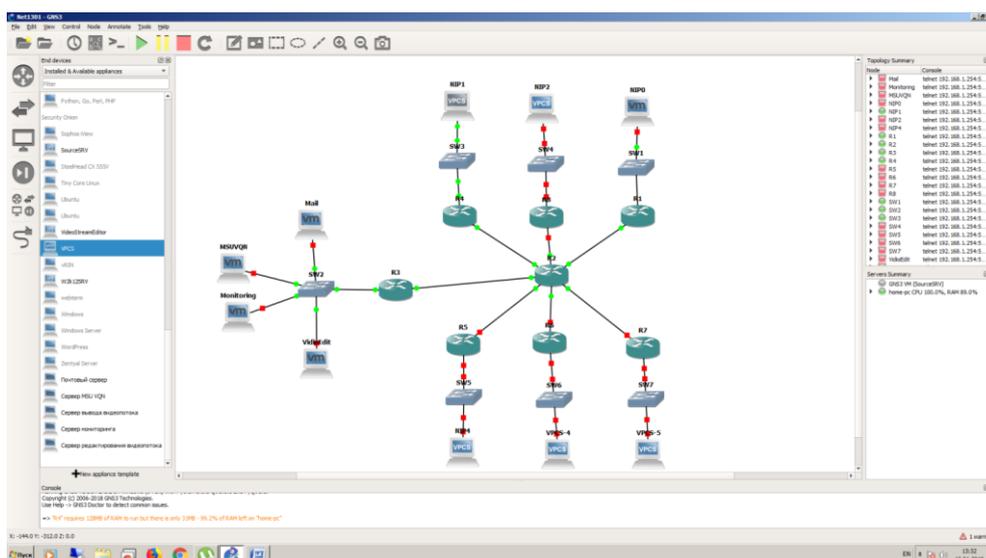


Рис. 7. Итоговая карта модельной сетевой и серверной инфраструктуры

Реализация модели системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта в НКУ КА

На базе описанной модели системы приёма ЦТВИ В НКУ КА, разработана модель системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта в НКУ КА.

Требования к аппаратно-программным средствам системы мониторинга:

- сбор, обработка, хранение и отображение полной информации о состоянии всех компонентов инфраструктуры в реальном времени;
- эффективная служба диагностики и своевременного оповещения для предупреждения нештатных ситуаций;
- масштабируемость;
- невмешательство в работу оборудования;
- мониторинг оборудования различных производителей и моделей.

В качестве системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта в НКУ КА рассматривались следующие программные продукты: Nagios, PRTG, Zabbix. В результате проведенного анализа было выбрано ПО PRTG, в связи с тем, что система обладает очень большим набором способов мониторинга различных сетевых устройств и серверов.

Для реализации модели системы мониторинга сетевой инфраструктуры выполнены следующие работы:

- настроены параметры входа на сетевые устройства по протоколу SNMP;
- настроены учетные записи для подключения к серверам;
- добавлены объекты мониторинга (элементы сетевой и серверной инфраструктуры);
- настроены сенсоры (рис.8);
- настроены интервалы опроса сенсоров и пороги перехода в состояние «Предупреждение» и «Тревога»;

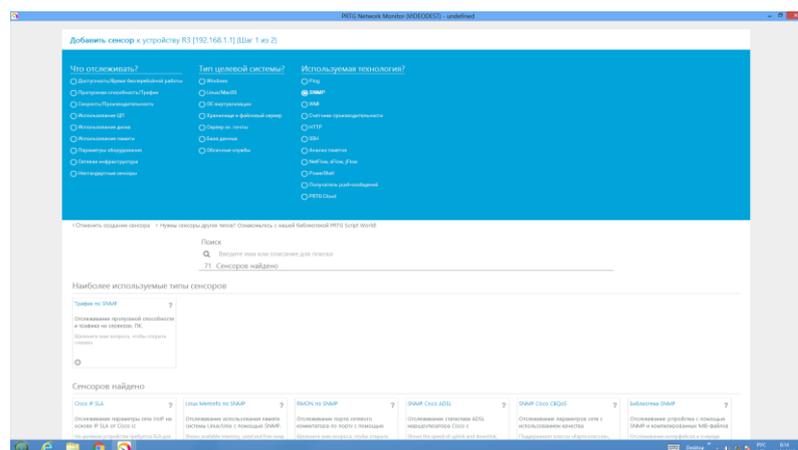


Рис. 8. Запуск процесса конфигурирования сенсоров на коммутаторе SW2.

На рис. 9 показана работа сенсора учета трафика на коммутаторе SW2. При возникновении сбоев в работе сетевой инфраструктуры и серверов, а так же

превышении пороговых значений; сенсор перейдет в состояние «Предупреждение», а при превышении нескольких интервалов опроса - в состояние «Тревога». На рис. 10 показано окно «Журналы» при наличии сигнала тревога (недоступны устройства SW1 и R1).

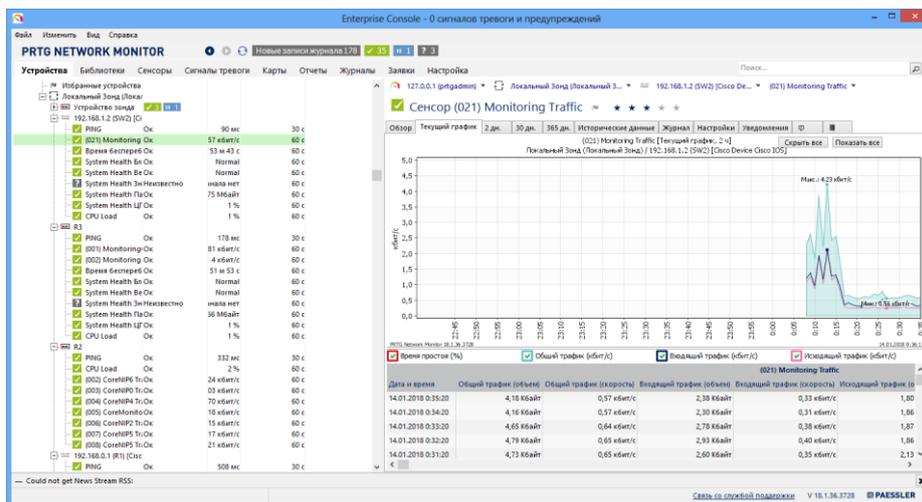


Рис. 9. Учет трафика на интерфейсе коммутатора SW2

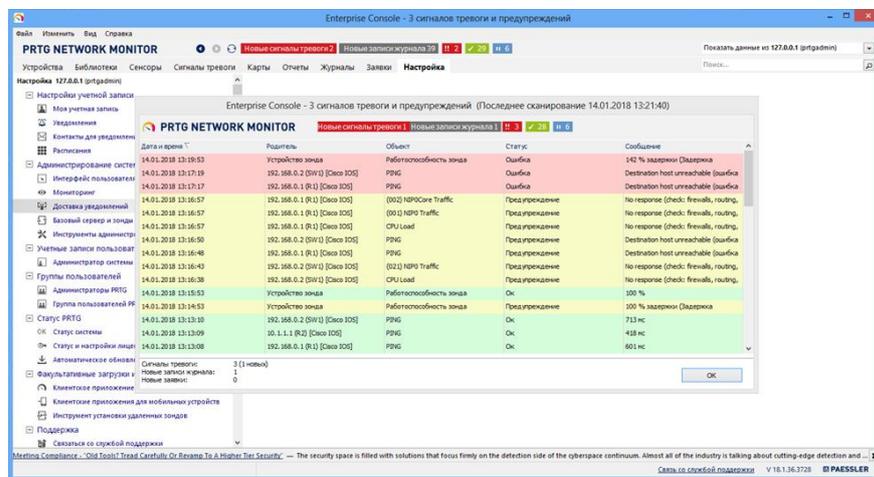


Рис. 10. Сигнал «Тревога». Недоступны устройства SW1 и R1

Для информирования операторов в модели системы мониторинга ЦТВИ в НКУ КА используются следующие способы:

- вывод цветového сообщения об ошибке на мониторы управления;
- 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;

На рис. 11 показано диалоговое окно для настройки e-mail и sms оповещения. Если в системе приёма ЦТВИ в НКУ КА происходит сбой и сенсор находится в состоянии ошибка более 60 сек., будет отправлено e-mail сообщение оператору. Когда сенсор находится в состоянии ошибка больше 300 сек., будет отправлено sms сообщение оператору. Если после срабатывания уведомления условия изменились, будет отправлено повторное sms сообщение. На рис. 12 показан пример e-mail сообщения об ошибке при работе системы.

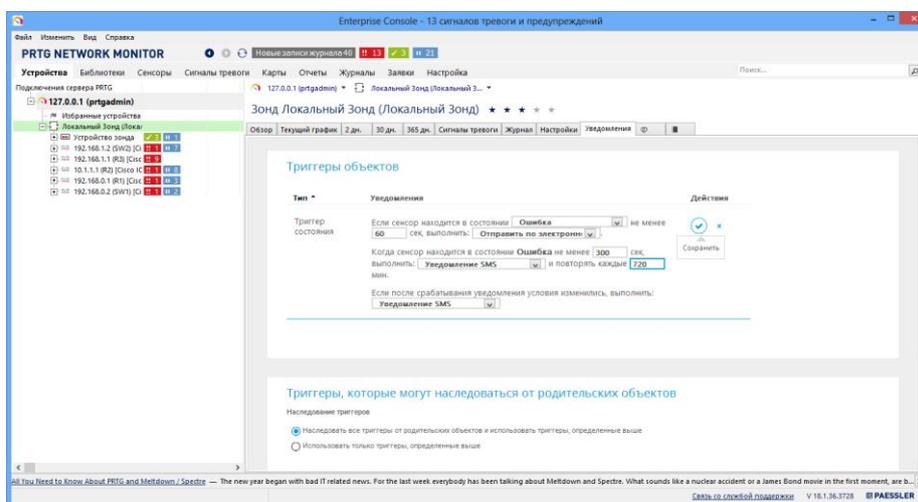


Рис. 11. Настройка системы e-mail и sms оповещения


 [PRTG Network Monitor (VIDEODEST)] 192.168.1.1 (R3) [Cisco Device Cisco IOS] System Health
 Память (Работоспособность системы устройства SNMP 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 1 Важное

PRTG NETWORK MONITOR

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 11.01.2012 20:10:00 (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 измерение	Последний "Ок"	Последняя "Ошибка"	Время безработной работы	Время простоя	Полнота	Тип сенсора	Исполнял:
47 с	7 ч 44 м	47 с	54,9401%	45,0599%	→ 18с=1 ч 54 м of 19 ч 51 м since (Объект не найден) > 10%	Работоспособность системы устройства SNMP Cisco	60 с

Рис. 12. Пример e-mail сообщения об ошибке при работе системы

Реализация модели системы оценки качества ЦТВИ

При реализации модели системы оценки качества ЦТВИ анализировались следующие программные продукты: «MSU Video Quality Measurement Tool», «ElecCard Video QuEst», «Avisynth plugins», «Video Quality Studio». Для реализации модели системы объективной оценки качества ЦТВИ было выбрано ПО «MSU Video Quality Measurement Tool», которое позволяет использовать 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) [11-19].

На рис. 13 показаны результаты тестирования двух видеофайлов при минимальном сжатии, на рис. 14 показаны результаты тестирования двух видеофайлов при сильном сжатии, при использовании метрики PSNR.

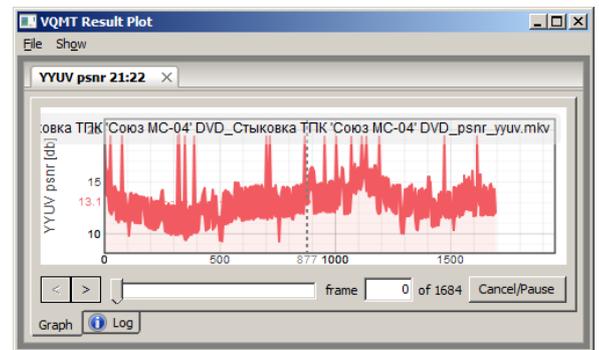
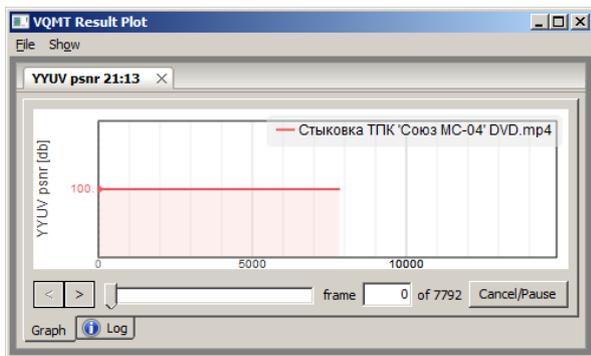


Рис. 13. Пример работы модели системы оценки качества для не искаженного и сильно искаженного видео

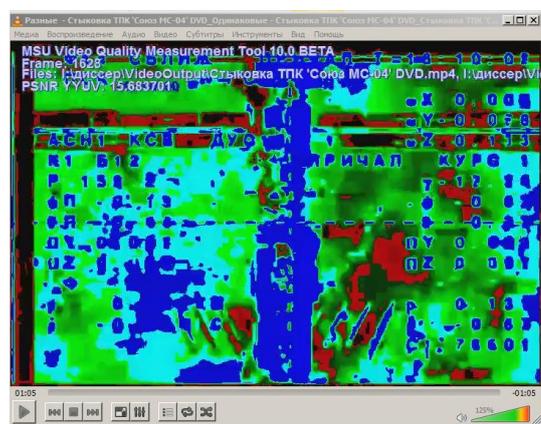
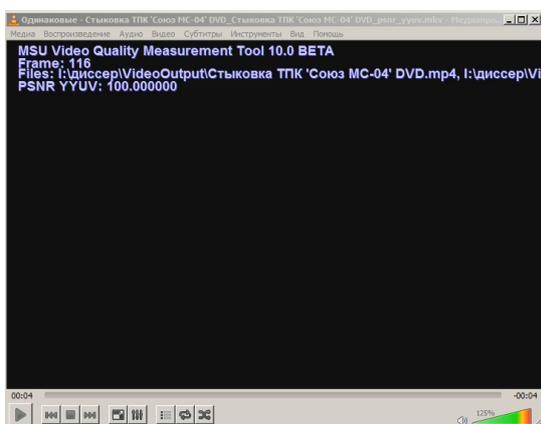


Рис. 14. Пример визуализации для не искаженного видео и сильно искаженного видео

На рис. 15, 16 показаны результаты тестирования двух видеофайлов при сильном сжатии, при использовании метрик VQM и Blocking, соответственно.

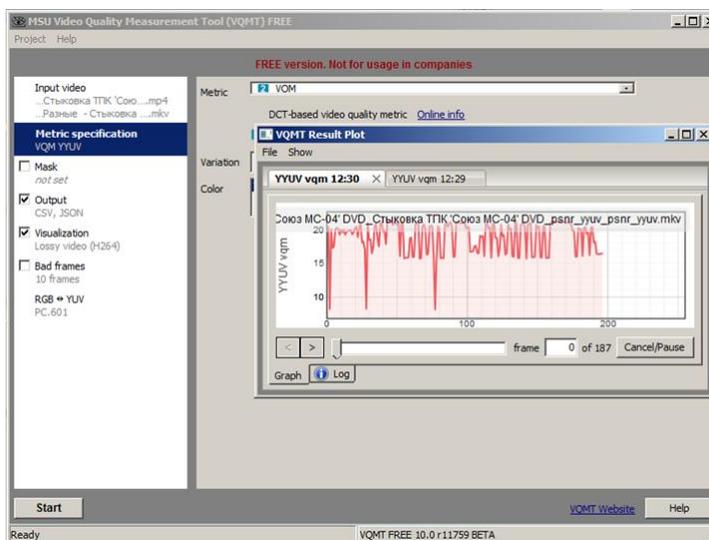


Рис. 15. Пример работы модели системы оценки качества метрикой VQM

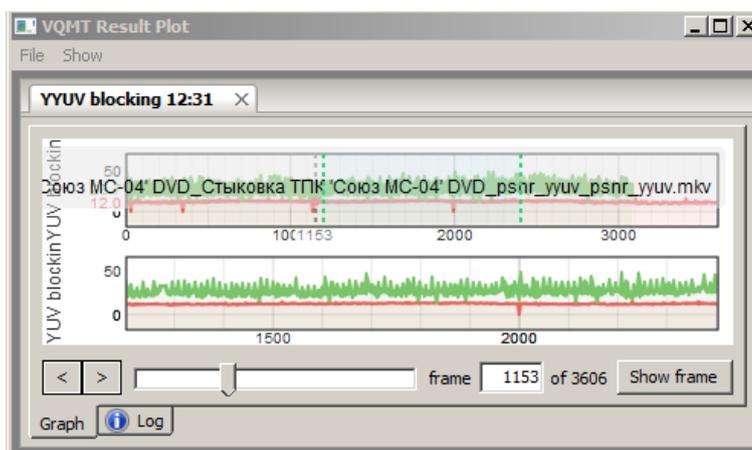


Рис. 16. Пример работы модели системы оценки качества метрикой Blocking

Тестирование модели системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта в НКУ КА

Тестирование отказов в модели системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта в НКУ КА включает следующие группы тестов [20]:

- обрыв каналов связи – перевод одного из интерфейсов на оборудовании канала передачи данных в выключенное состояние;
- отключение оборудования – программная перезагрузка оборудования канала передачи данных;
- 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;
- потеря пакетов при передаче видеосигнала – рассогласование параметров дуплекса оборудования канала передачи данных. Быстрое отключение и включение интерфейсов продолжительностью не более 1 секунды программным путем;
- наложение помех разного вида на источник сигнала – использование программных способов смешивания.

В данной работе впервые представлена реализация моделей системы приёма ЦТВИ в НКУ КА, системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта и оценки качества ЦТВИ в НКУ КА. При дальнейшей модернизации системы приёма ЦТВИ в НКУ КА созданная модель позволит анализировать различные программно-аппаратные системы, производить их тестирование и отладку. Она может быть использована также при обучении персонала новым решениям и технологиям.

Модель системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта показала высокую эффективность при обнаружении сбоев в работе оборудования приема ЦТВИ, а также высокую скорость оповещения.

На основе модели системы оценки качества ЦТВИ проведен эксперимент по определению эффективности использования метрик на различных тестовых видеопоследовательностях, соответствующих специфике контура управления КА.

Выводы

1. Для проведения различных экспериментов, отработки новых методик и систем связи появилась необходимость в создании модели, имитирующей работу телевизионного и сетевого оборудования, аналогичную работе системы связи в НКУ КА. Требования, которые предъявлялись к разрабатываемой модели: адекватность, универсальность, экономичность, точность.

2. Проведенный анализ возможностей систем виртуализации и эмуляции сетевого оборудования показал, что использование таких технологий позволяет создать модель системы приёма цифровой ТВИ.

3. Разработана полнофункциональная модель для тестирования комплексной сетевой и серверной инфраструктуры, позволяющая анализировать различные системы и тестировать функционал высокой сложности.

4. Разработанная модель системы приёма ЦТВИ в НКУ КА апробирована при создании модели системы мониторинга сетевой и серверной инфраструктуры ТВ тракта и оценки качества ЦТВИ в НКУ КА.

5. На основе опытов и экспериментов, проведенных на базе описанных моделей, были разработаны методы тестирования гетерогенных цифровых телекоммуникационных сетей, транспортного потока и анализа качества цифровой ТВИ, используемые при вводе новых ТВ систем в эксплуатацию в составе НКУ РС МКС, а также методы мониторинга ЦТВИ на уровне форматирования, компрессии и распространения, которые используются в НКУ КА.

Библиографический список

1. Левченко В.Д. Значение сетевых технологий в современных системах обеспечения полетов космических аппаратов // Космонавтика и ракетостроение. 2012. № 4 (69). С. 16 - 25.
2. Максимов А.М., Райкунов Г.Г., Шучев В.Г. Научно-технические проблемы развития наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения // Космонавтика и ракетостроение. 2011. № 4 (65). С.5 - 12.
3. Шелудяк Т.Б. Возможности использования виртуализации для создания и испытания системы оперативного мониторинга ТВ информации // IV Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов Центра управления полетами. Сборник статей. (Королёв, Московской обл., 5-8 апреля 2016). - М.: ЦНИИмаш, 2014. С. 257 - 273.
4. Шелудяк Т.Б. Методы постобработки видеосигналов, полученных по каналам связи малой информативности // Научно-технический семинар

«Перспективные разработки и идеи XXI века в области космонавтики». Сборник материалов. (Королёв, Московской обл., 10-12 декабря 2007). - М.: Машиноприбор, 2008. С. 23 - 26.

5. Эксанов М.Р. Использование современных программно-технических средств коммутации функциональных информационных потоков на ИВК ЦУП при обмене информацией по цифровым каналам связи // Научно-технический семинар «Перспективные разработки и идеи XXI века в области космонавтики». Сборник материалов. (Королёв, Московская обл., 10-12 декабря 2007). - М.: Машиноприбор, 2008. С. 83 - 85.

6. Чеботарев А.В. Шелудяк Т.Б. Методика оценки качества цифровой ТВ информации в контуре оперативного управления космическими аппаратами // Космонавтика и ракетостроение. 2015. № 5 (84). С. 47 - 52.

7. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Имитационная модель для исследования адаптивных сенсорных сетей // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93398>

8. Самарцев Н.С., Колотилов Е.Д., Кошелев Б.В. Алгоритм обмена данными по цифровой линии передачи данных «земля-борт-земля» // Труды МАИ. 2017. № 93. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=80448>

9. Шмелев В.В. Решение оптимизационной задачи на сетевой модели технологического процесса // Труды МАИ. 2016. № 88. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=70696>

10. Чеботарев А.В. Шелудяк Т.Б. Интегральная среда моделирования, предназначенная для систем мониторинга цифровой телевизионной информации // Космонавтика и ракетостроение. 2015. № 2 (81). С. 70 - 76.
11. Ramchandran K., Xiong Z., and Orchard M. T. Space-frequency quantization for wavelet image coding // IEEE Transactions on Image Processing, 1997, vol. 6, pp. 677 – 693.
12. Freeman W.T., Adelson E.H. The design and use of steerable filters // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, vol. 13, pp. 891 - 906.
13. Wang Z., Li Q. Video quality assessment using a statistical model of human visual speed perception // Journal of the Optical Society of America, 2007, no. 24 (12), pp. 61 - 69.
14. Wang Z., Bovik A.C. A universal image quality index // IEEE Signal Processing Letters, 2002, vol. 9, pp. 81 – 84.
15. Wang Z., Bovik A. C., Hamid Rahim Sheikh, P. Simoncelli, Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity // IEEE Transactions on Image Processing, 2004, vol. 13, pp. 600 – 612.
16. 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, 2004, vol. 13, no. 4, available at: <https://ece.uwaterloo.ca/~z70wang/publications/ssim.pdf>

17. Wang Z., Simoncelli E.P. Translation insensitive image similarity in complex wavelet domain // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Philadelphia, 2005, vol. 2, pp. 673 – 676.
18. Martucci S.A., Sodagar I., Chiang T., and Zhang Y.-Q. A zerotree wavelet video coder // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1997, vol. 7, pp. 109 - 118.
19. Puri B., Kollarits G., and Haskell B.G. Basics of stereoscopic video, new compression results with MPEG-2 and a proposal for MPEG-4 // Signal Processing: Image Communication, 1997, vol. 10, pp. 201 - 234.
20. Целина С.А., Целина Л.С., Макаров А.Е., Музыка А.А. Автоматизация сбора и анализа информации о нештатных ситуациях, возникающих в процессе обеспечения оперативных работ по РС МКС и КА НСЭН // IV Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов Центра управления полетами. Сборник статей. - Королев, Московская область: ЦНИИмаш, 2014. С. 279 - 285.