

УДК 528.851

**Проведение испытаний информационно-управляющей системы
служебного модуля РС МКС в части системы оптических телескопов на
наземном комплексе обработки**

***Воронин Ф.А., инженер**
Россия, 141070, г. Королев, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева*

***Карташев С.В., инженер**
Россия, 141070, г. Королев, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева*

***Назаренко Е.А., студент**
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»*

*Научный руководитель: Дунаева И.В., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru*

Информационно-управляющая система

Для обеспечения проведения экспериментов на РС МКС была спроектирована и реализована информационно-управляющая система (далее по тексту ИУС). ИУС представляет собой набор компьютеров, объединенных интерфейсами Ethernet, CAN, MIL-STD-1553, RS422 и предоставляющих данные интерфейсы для подключения научной аппаратуры (НА). Компьютеры ИУС обеспечивают автоматическое управление НА, предоставляют необходимую информацию для ее работы (данные навигации МКС, точное время), реализуют средства для управления и контроля НА из Центра управления полетами (ЦУП-М).

Система оптических телескопов, ее структура и управление

В рамках эксперимента по получению изображений подстилающей поверхности Земли по трассе полета МКС, а также съемки видео объектов на поверхности Земли или космоса была разработана НА «Система оптических телескопов» (COT).

В состав НА COT входит:

- камера высокого разрешения (HRC);
- камера среднего разрешения (MRC);
- блок обработки данных (БЗУ-М).

На рисунке 1 приведена схема интеграции НА COT в ИУС.

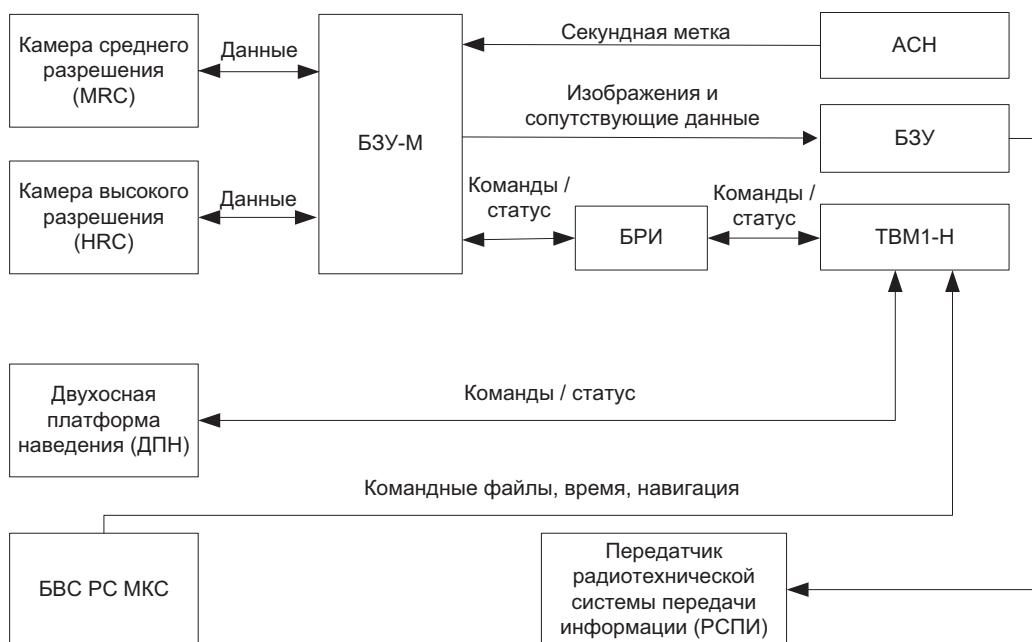


Рис. 1. Взаимодействие COT с информационно-управляющей системой и системой управления РС МКС

Камера среднего разрешения неподвижно закрепляется на внешней поверхности МКС и направлена в надир МКС. Камера работает как сканирующая линейка и формирует изображения с полосой обзора ~ 55 км и разрешением ~ 7 м/пиксель.

Камера высокого разрешения устанавливается на двухосную платформу наведения, позволяющую наводить камеру на произвольную точку на поверхности Земли или в космосе. Камера работает как видеокамера и формирует изображения с частотой 3 кадра в сек. с полем обзора $\sim 6 \times 4$ км и разрешением ~ 3 м/пиксель.

Обе камеры подключены к прибору БЗУ-М, обеспечивающему управление камерами, получение с них снимков и их хранение.

С ИУС блок БЗУ-М имеет следующие интерфейсы:

- для передачи информации на Землю (ЦУП-М) подключен по шине Ethernet с радиотехнической системой передачи информации (состоит из прибора БЗУ и передатчика радиотехнической системы передачи информации);
- для управления и контроля по шине Ethernet обменивается данными с компьютером ТВМ1-Н СМ (далее по тексту ТВМ1-Н);
- для синхронизации времени БЗУ-М подключен по специализированной шине к аппаратуре спутниковой навигации (АСН), входящей в состав системы управления РС МКС.

Параметры обмена были описаны в соответствующих протоколах информационно-логического взаимодействия. Компьютер ТВМ1-Н должен обеспечивать:

- автоматическое управление и контроль работы прибора БЗУ-М;
- управление НА СОТ из ЦУП-М;
- управление движением и контроль работы ДПН;
- управление питанием приборов БЗУ-М, МРС, НРС, ДПН.

Управление НА СОТ из ЦУП-М реализовано путем передачи файла с циклограммой работы (командный файл или OCF(англ.)) в ТВМ1-Н и БЗУ-М. Циклограмма представляет собой временную последовательность команд. Командный файл содержит следующие виды команд:

- время подачи и снятия питания с приборов БЗУ-М, МРС, НРС, ДПН;
- время начала и окончания съемки, параметры съемки МРС;
- время начала и окончания съемки, параметры съемки, координаты целей НРС.

Кроме того, с помощью командных файлов будет осуществляться реконфигурация (смена ПО) и диагностика БЗУ-М.

Исходя из поставленных задач, были сформулированы требования к компоненту управления СОТ в ПО ТВМ1-Н. Программный компонент управления СОТ должен выполнять следующие задачи:

- принимать командный файл и проверять его корректность;
- управлять питанием аппаратуры СОТ и ДПН согласно командам в командном файле;
- осуществлять обмен с компьютером БЗУ-М в соответствии с протоколом информационно-логического взаимодействия;
- контролировать работу приборов СОТ;
- парировать расчетные нештатные ситуации в работе СОТ;
- формировать телеметрическую информацию для контроля работы программного компонента.

Для обеспечения работы НА СОТ произведена разработка программного компонента управления БЗУ-М, входящего в состав ПО ТВМ1-Н.

Процесс отладки и проведение испытаний

Обязательной частью процесса разработки ПО является его отладка и испытания.

В соответствии с общими принципами создания программного обеспечения для систем управления космических аппаратов и жизненным циклом разработки ПО ТВМ1-Н, основными этапами отладки и испытания ПО являются:

- автономная отладка и испытания на автоматизированном рабочем месте (АРМ);
- комплексная отладка и испытания в составе наземного комплекса отладки (НКО);
- испытания на комплексном испытательном стенде (КИС).

Автономная отладка и испытания осуществляется разработчиками ПО на своих рабочих местах (АРМ). ПО ТВМ1-Н отлаживается в среде MS Windows. Для имитации БЗУ-М используется виртуальная машина VMware под управлением ОС QNX с загруженным образом ПО БЗУ-М. Основными задачами данного этапа испытаний являются функциональные проверки управления и контроля БЗУ-М из ТВМ1-Н.

Комплексная отладка и испытания в составе НКО проводится группой тестирования. Основными задачами данного этапа испытаний являются:

- проверка работы ПО ТВМ1-Н, ПО БЗУ-М на реальной бортовой аппаратуре;
- проверка сопряжения между ТВМ1-Н, БЗУ-М, АСН;
- функциональные проверки ПО ТВМ1-Н, которые невозможно провести на этапе автономной отладки.

Испытания на КИС – заключительный этап отработки ПО ИУС. Испытания на КИС проводится для проверки электрических интерфейсов реальных приборов.

Структура НКО приведена на рис. 2.

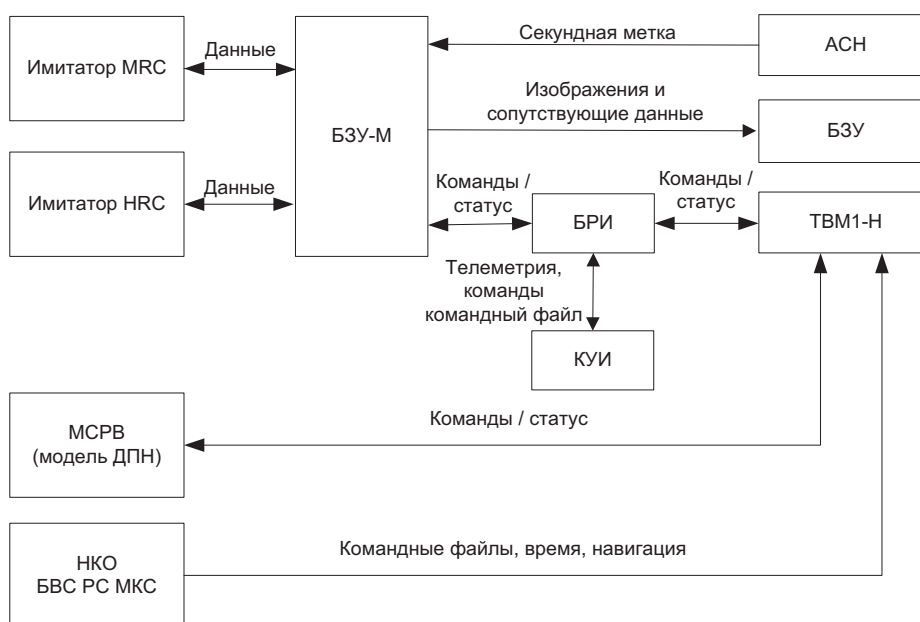


Рис. 2. Структурная схема НКО

НКО состоит из следующих частей:

- ТВМ1-Н;
- БЗУ-М;
- БЗУ;
- АСН;
- Имитатор HRC;
- Имитатор MRC;
- Бортовой маршрутизатор Ethernet (Блок размножения интерфейсов (БРИ));
- Моделирующая система реального времени (МСПВ);
- Компьютер управления испытаниями (КУИ).

НКО объединен с наземным комплексом отладки системы управления РС МКС (НКО БВС РС МКС), откуда поступает навигационная информация о текущем положении МКС и имитация управления из ЦУП-М.

МСПВ представляет собой компьютер, работающий под управлением ОС QNX, на котором работает программно - математическая модель ДПН.

Компьютер управления испытаниями обеспечивает управление и контроль работы ПО ТВМ1-Н и ПО МСПВ. ПО КУИ обеспечивает выдачу команд управления и отображение телеметрических сообщений, формируемых ТВМ1-Н и ПО МСПВ, а также – специализированных форматов отображения. Также в состав ПО КУИ имеется средства выдачи командных файлов для управления работой ТВМ1-Н и БЗУ-М в части испытаний СОР.

В состав НКО входят аппаратные имитаторы MRC, HRC, соединенные с БЗУ-М. Имитаторы обеспечивают штатный обмен с БЗУ-М, формирование целевой информации, имитирующей тестовые изображения с камер.

Проведение испытаний ПО ТВМ1-Н в части управления СОР происходит в следующей последовательности:

- 1) Средствами КУИ формируется командный файл;
- 2) Командный файл через НКО бортовых систем РС МКС поступает в ТВМ1-Н;
- 3) ПО ТВМ1-Н проверяет командный файл и добавляет его в очередь;
- 4) ТВМ1-Н через БРИ передает командный файл в БЗУ-М;
- 5) ПО БЗУ-М проверяет командный файл соответствия определенным правилам и добавляет в свою очередь;

- 6) ПО БЗУ-М и ПО ТВМ1-Н одновременно производят интерпретацию командного файла.

Командный файл и его проверка

Исходный вид командного файла текстовый. Текстовый формат предназначен для составления и редактирования командного файла и выполнен в формате YAML. Для передачи на борт текстовый файл компилируется в бинарный вид, предназначенный для отправки в ТВМ1-Н и далее в БЗУ-М.

В процессе проведения испытаний на НКО было необходимо составить набор тестовых случаев, максимально охватывающих разные ветви алгоритмов ПО ТВМ1-Н в части проверки командного файла и взаимодействия с БЗУ-М. Программа и методика проведения испытаний включала в себя следующие основные тестовые случаи:

- проверка штатной работы MRC с различными настройками;
- проверка штатной работы HRC с различными настройками;
- проверка работы ДПН и наведения ДПН на цели;
- проверка одновременной работы MRC, HRC, ДПН;
- проверка парирования отказов работы MRC, HRC, ДПН;
- проверка парирования ошибок в командном файле.

Наиболее комплексной была проверка точности управления ДПН из ТВМ1-Н, поскольку это требовало моделирования движения ДПН с учетом упругости конструкций и их колебаний, задания различных коэффициентов работы двигателей ДПН, задания на НКО БВС РС МКС вектора состояния МКС.

Методика была полностью выполнена на НКО и будет использоваться при выполнении регрессионного тестирования ПО ТВМ1-Н при его доработках. В настоящее время аппаратура СОР установлена на борту МКС, где проводятся ее летные испытания.

В статье рассмотрены основные принципы проведения испытаний программных средств ИУС Российского сегмента МКС на примере организации процесса испытаний программного компонента управления БЗУ-М, входящего в состав ПО ТВМ1-Н для обеспечения эксперимента СОР. В рамках проведенных работы была разработана программа и методика испытаний программного компонента управления БЗУ-М ПО ТВМ1-Н на наземном комплексе отладки, выполнены испытания ПО ТВМ1-Н на НКО. По результатам испытаний финальная версия ПО ТВМ1-Н была допущена к испытаниям на КИС. В настоящее время ПО ТВМ1-Н эксплуатируется на борту МКС.

Список литературы

1. Бусарова Д.А., Порокопьев В.П., Карташев С.В. Создание экспериментального наземного комплекса получения и обработки информации от оптических телескопов, устанавливаемых на РС МКС: доклад. Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVII академических чтений по космонавтике. М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2013. С. 484-488.
2. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 336 с.
3. Микрин Е.А., Марков А.В., Сорокин И.В., Гусев С.И. , Путан Д.Б., Дунаева И.В. Применение новых информационных технологий для повышения эффективности целевого использования российского сегмента МКС: доклад. Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVI академических чтений по космонавтике. М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2012. С. 489-495.
4. Пахмутов П.А., Скороход С.А., Воронин Ф.А. Проектирование и реализация средствами информационно-управляющей системы РС МКС эксперимента по дистанционному зондированию Земли с помощью системы оптических телескопов доклад. Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVII академических чтений по космонавтике. М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2013. С. 471-480.
5. Скороход С.А., Карташев С.В. Разработка новых средств интеграции и отработки ПО ИУС РС МКС: доклад. Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVI академических чтений по космонавтике. М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2012. С. 471-474.