

О МОДЕРНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Ф.А. Воронин
П.А. Пахмутов
А.В. Сумароков

favoronin@gmail.com
Pavel.Pahmutov@rsce.ru
avsumarokov@gmail.com

ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва»,
Королёв, Московская обл., Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрена модернизация информационно-управляющей системы российского сегмента Международной космической станции. Информационно-управляющая система служит для обеспечения проведения различных космических экспериментов на борту Международной космической станции. Ввиду повышающейся сложности планируемых и проводимых космических экспериментов, имеющих возможностей и вычислительных ресурсов на борту Международной космической станции становится недостаточно. Подробно рассмотрены планы по модернизации существующей системы до современного уровня и проведен анализ работы уже модернизированного оборудования на примере некоторых наиболее значимых экспериментов. Эффективность выполненной модернизации подтверждена результатами, полученными в ходе проведения космических экспериментов на базе информационно-управляющей системы

Ключевые слова

Международная космическая станция, космические эксперименты, информационно-управляющая система, бортовой компьютер

Поступила в редакцию 02.06.2016
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00458

В настоящее время происходит переход от фазы строительства к полномасштабному целевому использованию интегрированных в состав российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) исследовательских модулей. Ключевыми модулями РС для проведения научных экспериментов (НЭ) являются служебный модуль (СМ) «Звезда» (запуск осуществлен в 2000 г.), планируемые многоцелевой лабораторный модуль (МЛМ) «Наука» и научно-энергетический модуль (НЭМ). В целях создания высокотехнологичных условий проведения научных исследований на РС МКС [1, 2] в РКК «Энергия им. С.П. Королёва» ведутся работы по созданию информационно-управляющей системы (ИУС) на новых модулях, модернизации на уже существующих и объединению их вместе с бортовым комплексом управления (БКУ) в единую информационную среду.

Основные задачи ИУС:

- 1) управление и информационная поддержка научных экспериментов в автоматическом и ручном режимах;
- 2) организация бортовой локальной вычислительной сети *Ethernet*;
- 3) медицинское обеспечение экипажа;
- 4) информационная и психологическая поддержка экипажа.

Задача модернизации ИУС возникла в 2012 г. в связи с окончанием гарантийного срока службы и периодических отказов компьютеров существующих аппаратно-программных средств ИУС МКС на СМ. На тот момент в состав ИУС СМ входили ноутбуки экипажа, сетевые средства *Ethernet* и четыре бортовых компьютера.

Схема ИУС до модернизации приведена на рис. 1.

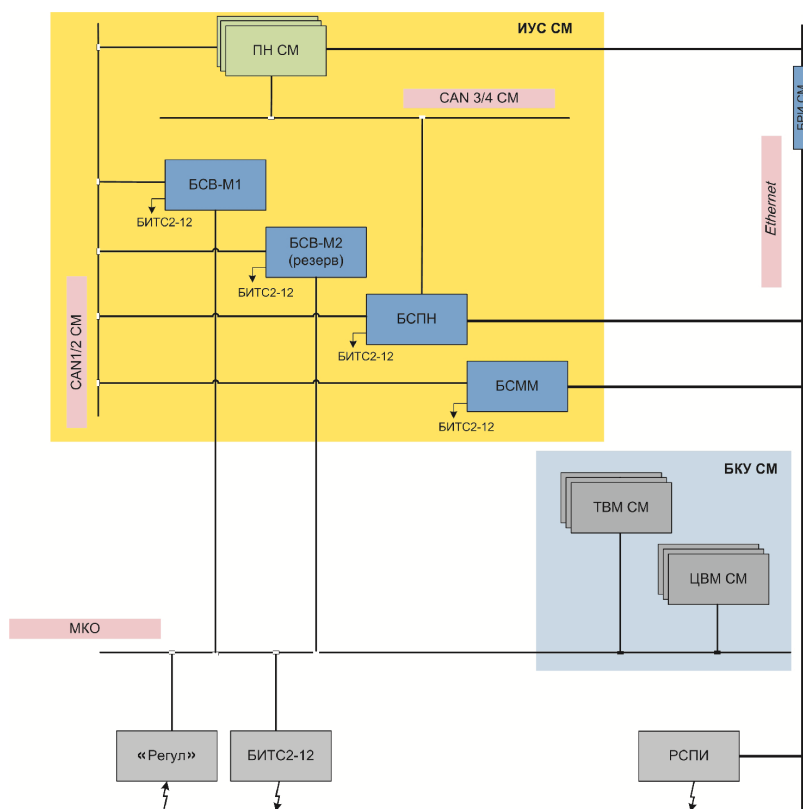


Рис. 1. Схема ИУС до модернизации:

МКО — мультиплексный канал обмена; CAN1/2 СМ, CAN3/4 СМ — шины CAN СМ РС МКС; «Регул», БИТС2-12, РСПИ — радиосистемы связи с Землей; БСММ, БСПН, БСВ-М1, БСВ-М2 — компьютеры ИУС СМ; ТВМ СМ, ЦВМ СМ — компьютеры БКУ, осуществляющие управление движением и навигацией МКС и управление различными системами и приборами МКС

Компьютер БСВ-М является одним дублированным прибором, работающим в «холодном» резерве, служит мостом для передачи информационных и командных потоков данных между БКУ СМ и абонентами на шине CAN1/2.

Компьютеры БСММ и БСПН обеспечивают управление полезными нагрузками с помощью цифровых интерфейсов и дискретных команд.

Следует отметить, что все компьютеры построены на различной аппаратной архитектуре и разнородном программном обеспечении, что приводит к трудностям их замены по мере выхода их из строя.

Основной задачей при разработке новых средств являлось устранить разнородность используемых аппаратно-программных решений и спроектировать архитектуру системы для ее последующего расширения с учетом разработки новых модулей РС МКС.

Необходимо было спроектировать систему, отвечающую следующим требованиям:

- 1) унификация аппаратных средств с учетом последующей модернизации ИУС;
- 2) унификация программного обеспечения;
- 3) унификация средств управления и контроля системы.

Первый этап модернизации. На первом этапе была запланирована замена одного компьютера, входящего в состав ИУС. Цель первого этапа модернизации — тестирование новых выбранных аппаратно-программных средств на борту. Была проведена замена прибора БСММ прибором на новой аппаратной платформе ТВМ1-Н СМ (рис. 2).

В качестве аппаратной платформы в РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» был спроектирован и изготовлен в компании «Элкус» компьютер БКИПН (рис. 3), который построен на архитектуре *Intel* с процессором *Celeron* с частотой 400 МГц, имеет два твердотельных накопителя емкостью 8 и 32 Гб и широкий набор интерфейсных плат для сопряжения с полезными нагрузками (CAN, МКО1553, *Ethernet*, RS422). Эти компьютеры (7 шт.) планируется использовать в качестве вычислительных средств в ИУС СМ и МЛМ РС МКС. Следует отметить, что применение вычислительных средств одной модели позволит повысить аппаратную надежность системы и обеспечит ее унификацию.

Для компьютеров ИУС на новой аппаратной платформе программное обеспечение было разработано в РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» [3]. Одним из основных принципов разработки программного обеспечения являлась его модульность и возможность унификации между различными компьютерами ИУС. В связи с этим программное обеспечение было разделено на ядро, единое для всех приборов, и на уникальное функциональное обеспечение, зависящее от назначения компьютера.

При создании программного обеспечения были выделены основные архитектурные принципы его проектирования.

1. Единое ядро с возможностью его унификации для ПО всех компьютеров ИУС.
2. Унификация средств управления и контроля за работой программного обеспечения из центра управления полетом МКС.
3. Унификация протоколов обмена с научной аппаратурой.

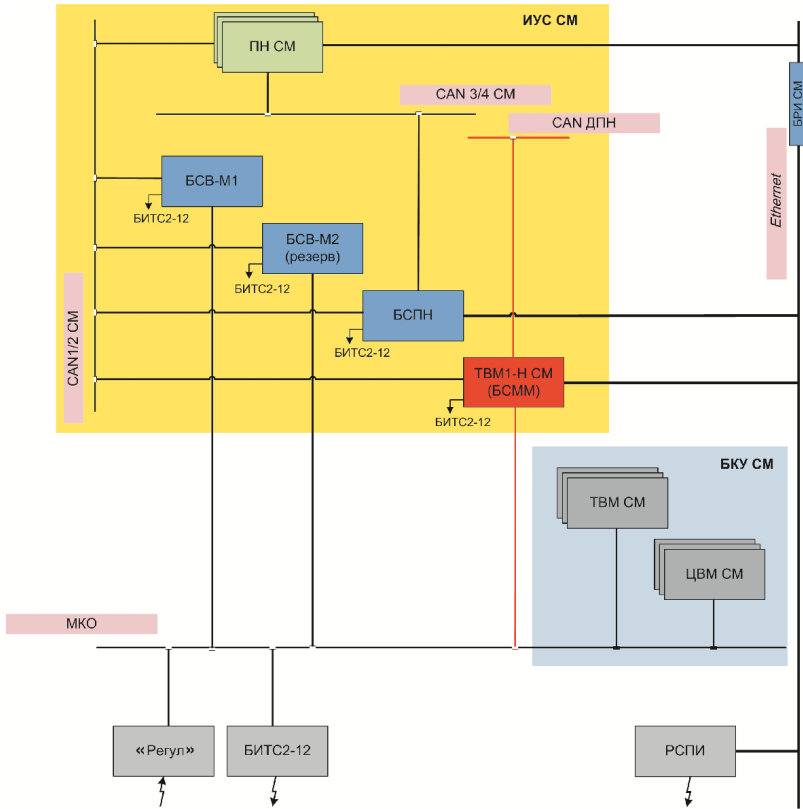


Рис. 2. Схема ИУС РС МКС на первом этапе модернизации



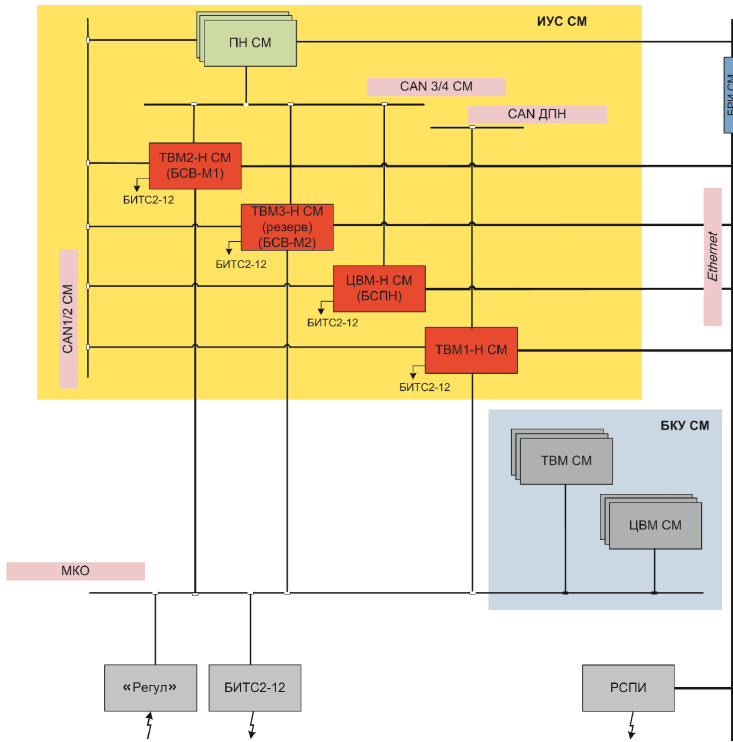
Рис. 3. Внешний вид компьютера БКИПН

Опираясь на приведенные выше принципы, в рамках целевого использования ИУС СМ было разработано программное обеспечение ТВМ1-Н СМ. Ввиду нарастающей технологичности экспериментов, проводимых на МКС, программные средства ИУС становятся основными при решении задач координированного управления и реализации алгоритмов управления и контроля научной аппаратурой и целевым оборудованием. Дополнительно программное обеспечение ИУС отвечает за обеспечение научных экспериментов данными точного времени и баллистико-навигационного обеспечения (БНО).

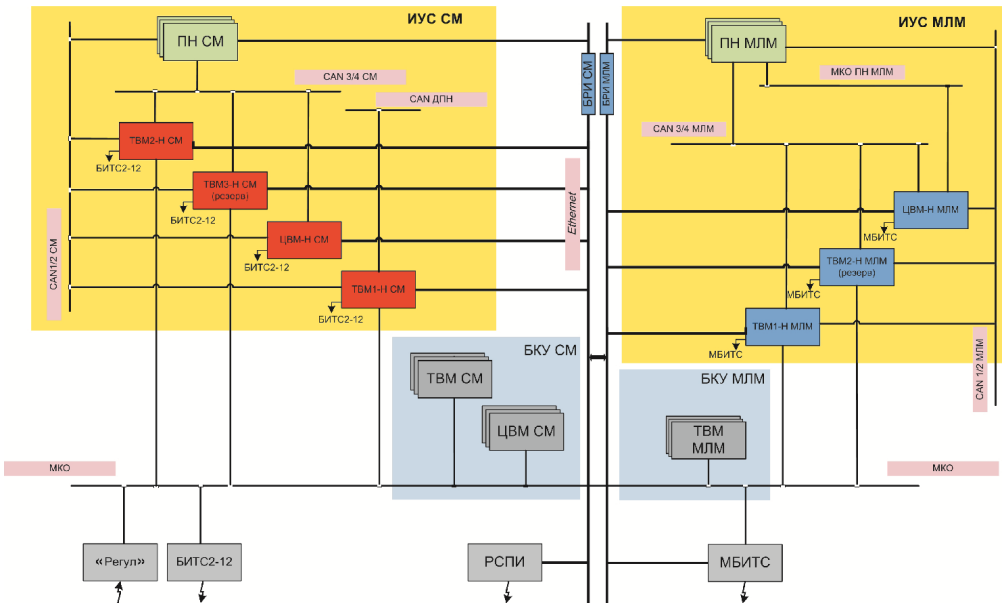
Ключевая особенность первого этапа модернизации — в новом компьютере ТВМ1-Н СМ стала доступна информация о текущем угловом и пространственном положении МКС, которая поступает непосредственно из системы управления движением и навигации БКУ СМ по МКО с минимальными задержками. При этом компьютер ТВМ1-Н СМ использует полученную информацию не только в алгоритмах управления полезными нагрузками, но и передает ее по каналу *Ethernet* всем заинтересованным потребителям, имеющим соответствующий интерфейс приема и передачи данных. В частности, из системы управления движением поступает информация о векторе состояния центра масс МКС (координаты и скорости) в инерциальной системе координат J2000 и в гринвичской системе координат WGS84; UTC время расчета вектора состояния; кватернионы разворота орбитальной системы координат и гринвичской системы координат относительно J2000; UTC времена следующих входа и выхода из тени; широта и долгота подспутниковой точки; векторы направления на центры Луны и Солнца; количество липсекунд для текущей даты. Все указанные параметры передаются в ТВМ1-Н СМ с частотой 1 Гц. Дополнительно, с частотой 5 Гц в компьютер ТВМ1-Н СМ поступают следующие параметры ориентации МКС: кватернионы разворота связанной системы координат и системы координат МКС относительно орбитальной и инерциальной системы координат J2000; абсолютная угловая скорость МКС в связанной системе координат; время расчета параметров ориентации.

Практика проведения научных экспериментов на борту МКС показала, что перечисленный набор данных достаточен практически для любого проводимого эксперимента. Передаваемые параметры движения МКС позволяют определять текущее положение и ориентацию МКС, а также экстраполировать данные параметры на заданное время. Кроме того, в числе передаваемых параметров также имеются времена входа и выхода из тени, что позволяет управлять включением или выключением научной аппаратуры, используемой на той или иной части витка.

Второй и последующие этапы модернизации. Вторым этапом в построении ИУС СМ планируется замена оставшихся компьютеров и их программного обеспечения. Основная цель этапа — увеличить количество одновременно проводимых экспериментов на СМ РС. Замена приборов повысит надежность аппаратных средств, увеличит число интерфейсов для подключения полезных нагрузок и суммарную вычислительную мощность всей системы. Схема ИУС на втором этапе модернизации приведена на рис. 4, а.



а



б

Рис. 4. Схемы ИУС РС МКС на втором (а) и третьем (б) этапах модернизации:

CAN1/2 МЛМ, CAN3/4 МЛМ — шины CAN МЛМ РС МКС; МБИТС — радиосистема связи с Землей; ТBM1-Н МЛМ, ТBM2-Н МЛМ, ЦВМ-Н МЛМ — компьютеры ИУС МЛМ; ТBM МЛМ — компьютер БКУ МЛМ

На третьем этапе модернизации должны быть решены задачи разработки ИУС МЛМ. В состав ИУС МЛМ входят три компьютера ТВМ1-Н, ТВМ2-Н, ЦВМ-Н (рис. 4, б). Все приборы объединены в сеть *Ethernet*, обеспечивают обмен с научной аппаратурой по шине CAN1/2 (внутри гермоотсека) и CAN3/4 снаружи гермоотсека. В отличие от СМ, где вопрос места установки научной аппаратуры прорабатывается индивидуально, в ИУС МЛМ предусмотрены универсальные места, предоставляющие механические, электрические и информационные интерфейсы специально для подключения научной аппаратуры.

Четвертым этапом модернизации ИУС станет прибытие НЭМ. Таким образом, после запуска модулей МЛМ и НЭМ на РС МКС будет организована единая локальная вычислительная сеть управления научной аппаратурой и проведения экспериментов. Перечисленные аппаратно-программные средства обеспечат условия для проведения различных космических экспериментов во всех модулях РС МКС. Полная схема ИУС РС МКС после модернизации и прибытия новых модулей приведена на рис. 5.

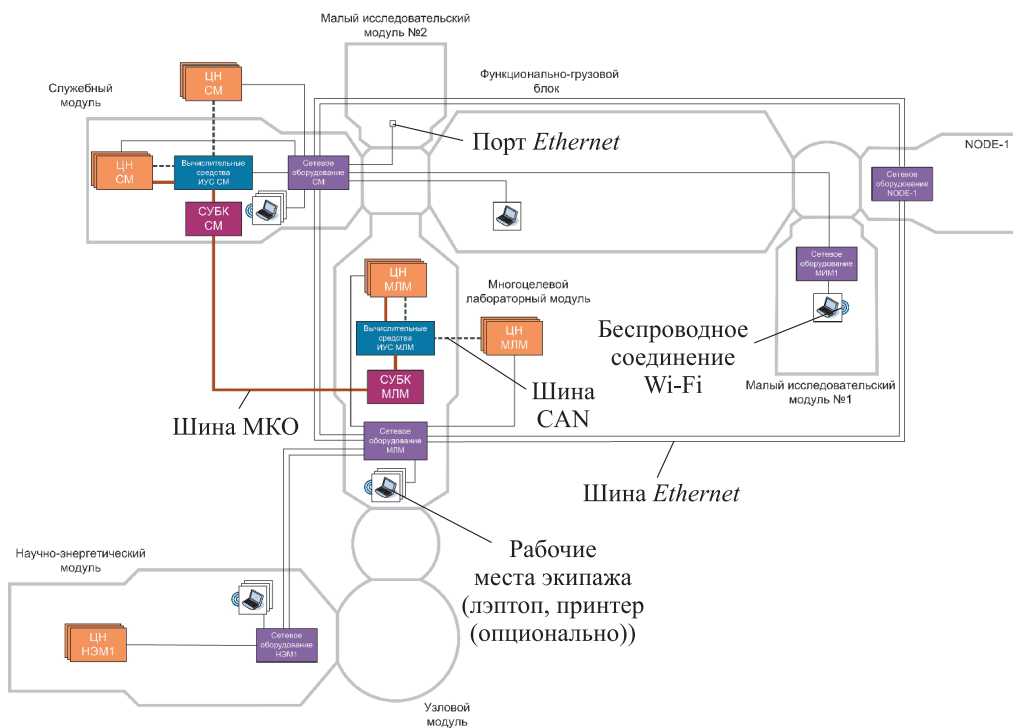


Рис. 5. Полная схема ИУС РС МКС после модернизации и прибытия новых модулей:
ЦН — целевая нагрузка; СУБК — система управления бортовым комплексом

Испытания и отработка разработанной системы. В рамках первого этапа модернизации ИУС были разработаны новые аппаратные и программные средства. В соответствии с концепцией проектирования программного обеспечения на РКК «Энергия» им. С.П. Королёва задачи отработки, испытаний и сопро-

вождения компьютеров ИУС и их программного обеспечения является одним из этапов жизненного цикла их разработки [2]. В процессе модернизации были спроектированы и разработаны средства наземного комплекса отработки компьютеров ИУС и их программного обеспечения. Для отработки взаимодействия компьютеров ИУС и научной аппаратуры используют специально разработанные математические модели научной аппаратуры.

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

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

Автономная отладка и испытания осуществляется разработчиками программного обеспечения на рабочих местах. Программное обеспечение ТВМ1-Н СМ отлаживается в среде *MS Windows*. Для имитации научной аппаратуры используют виртуальные машины *VMware* с программным обеспечением научной аппаратуры и математические модели. Основные задачи этого этапа испытаний — функциональные проверки управления и контроля научной аппаратуры из ТВМ1-Н СМ.

Комплексная отладка и испытания в составе НКО проводятся группой тестирования. Основные задачи этого этапа испытаний:

- проверка работы ПО ТВМ1-Н СМ на реальной бортовой аппаратуре;
- проверка сопряжения между ТВМ1-Н СМ и научной аппаратуры;
- функциональные проверки ПО ТВМ1-Н СМ, которые невозможно провести на этапе автономной отладки.

Объектом испытаний является компьютер ИУС и его программное обеспечение, средства испытаний — компьютер управления испытаний, с помощью которого контролируется телеметрическая информация от компьютера ИУС и выполняется управление им. Модели систем и полезных нагрузок (научной аппаратуры) — компьютер, на котором разработаны программные модели внешних по отношению к компьютеру ИУС, систем и полезных нагрузок. Для оценки качества обмена применяются анализаторы шин CAN, МКО. Схема верификации программного обеспечения на НКО представлена на рис. 6.

Наземный комплекс отработки ИУС может быть интегрирован с НКО бортовых вычислительных средств СМ, МЛМ, НЭМ. В зависимости от задач эта принципиальная архитектура НКО применяется к испытаниям компьютеров ИУС СМ, МЛМ, НЭМ в отдельности их интеграции и комплексным испытаниям.

Испытания на комплексном испытательном стенде — заключительный этап отработки программного обеспечения ИУС. Эти испытания проводят для проверки электрических интерфейсов реальных приборов.

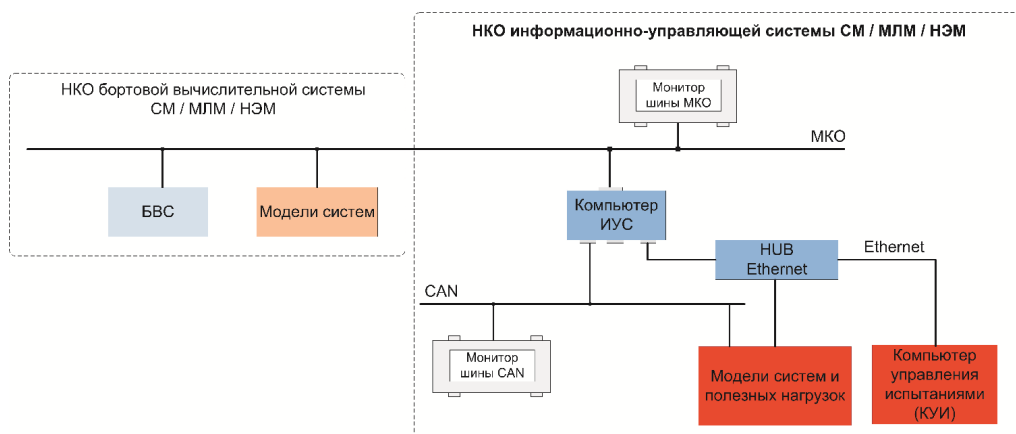


Рис. 6. Схема верификации программного обеспечения на НКО ИУС

Результат первого этапа модернизации. Практическим результатом использования нового компьютера, доставленного и смонтированного на МКС, при первом этапе модернизации ИУС стало проведение ряда высокотехнологичных научных экспериментов.

В 2013 г. был проведен эксперимент *Global Transminson Services 2 — Дальность*, целями которого стало исследование и использование сигналов системы глобального времени с борта МКС для уточнения параметров орбитального движения [4, 5]. Результаты эксперимента применяют при создании наземных систем определения параметров орбитального движения КА, использующих беззапросные измерения наклонной дальности и радиальной скорости. Управление и контроль аппаратуры *Global Transminson Services* осуществлялись с компьютера ТВМ1-Н СМ. Дополнительно компьютер ТВМ1-Н СМ обрабатывал баллистико-навигационную информацию в необходимый для аппаратуры *Global Transminson Services* формат.

В 2014 г. совместно с компанией *UrtheCast* (Канада) начался эксперимент по дистанционному зондированию Земли с помощью системы оптических телескопов «Напор-МиниРСА» [6–8]. Система оптических телескопов представляет собой две камеры, установленные на борту РС МКС. Первая камера среднего разрешения устанавливается неподвижно на внешней поверхности СМ по направлению в надир. Камера предназначена для съемки поверхности в режиме «подметания» и получения изображений в виде полос шириной 37,7 и 47,4 км с проекцией пикселя на поверхность Земли 5,4 м (для высоты орбиты 350 км). Вторая камера высокого разрешения устанавливается на двухосную платформу наведения. Эта камера предназначена для видеосъемки участка подстилающей поверхности размером 5,36×3,56 км с проекцией пикселя на поверхность Земли 1,15 м (для высоты орбиты 350 км) со скоростью 3 кадр/с (время экспозиции одного кадра 0,3 с). Установка на поворотной платформе позволяет осуществлять слежение за точкой на поверхности Земли, небесным телом и снимать видеоизображения выбранного объекта. При реализации этого эксперимента ТВМ1-Н СМ осуществляет наведение камеры вы-

сокого разрешения на цели съемки, обеспечивает управление и контроль аппаратуры системы оптических телескопов.

Рассылка из ТВМ1-Н СМ баллистико-навигационной информации по сети *Ethernet* позволила исключить затраты времени экипажа на ежедневную ручную синхронизацию компьютеров экипажа РС МКС, увеличило точность и оперативность отображения экипажу текущего положения и ориентации МКС.

В процессе проведения экспериментов компьютер ТВМ1-Н СМ зарекомендовал себя как надежное вычислительное средство, предоставляющее широкий набор интерфейсов для подключения научной аппаратуры, а выбранный подход к проектированию программного обеспечения позволит интегрировать в него алгоритмы по управлению будущей научной аппаратурой и обеспечит проведение модернизации ИУС.

Дополнительно следует отметить, что в настоящее время происходит наземная подготовка научных экспериментов, проведение которых запланировано на СМ «Звезда» [9]. Например, эксперимент «Терминатор», целью проведения которого является отработка новых методов космического мониторинга состояния средней атмосферы Земли. Объектом измерения в каждый момент времени является рассеянное солнечное и собственное излучение атмосферы в диапазоне высот верхней мезосферы — нижней термосферы в поле зрения блока из четырех фотоприемников. Управление и контроль аппаратуры осуществляется с компьютера ТВМ1-Н СМ.

Кроме того, в рамках сопровождения проведения космических экспериментов и развития ИУС на борту МКС дополнительно был реализован канал передачи данных с целевой информацией научной аппаратуры через американский



Рис. 7. Схема передачи информации на Землю с борта МКС, реализованная в рамках космического эксперимента «Напор-мини РСА»

сегмент МКС. Для обеспечения космического эксперимента «Напор-Мини РСА» компьютеры ИУС получают целевые данные со снимками поверхности Земли, сделанные системой оптических телескопов, и передают эту информацию на Землю. Ввиду большого объема получаемой информации и в целях ее оперативного получения могут быть задействованы как радиосистема передачи информации РС МКС, так и канал передачи через американский сегмент МКС [8]. На Земле снимки хранятся в облачном хранилище *Amazon cloud*. Таким образом, эта информация становится одновременно доступной как российской стороне, так и канадским коллегам. Схема передачи информации на Землю с борта МКС, реализованная в рамках космического эксперимента «Напор-мини РСА», приведена на рис. 7. Результаты дистанционного зондирования Земли, полученные при реализации космического эксперимента «Напор-Мини РСА» можно посмотреть в открытом доступе в галерее компании *UrtheCast* [10].

Заключение. Рассмотрена модернизация ИУС российского сегмента МКС. Был проведен обзор этапов модернизации этой системы, рассмотрены причины и ожидаемые преимущества модернизированной системы. На примере реализации космических экспериментов «Напор-Мини РСА» и *Global Transmission Services 2 — Дальность* была показана эффективность нового оборудования и проведен анализ его работы в течение нескольких лет. Дополнительно были рассмотрены принципы создания программного обеспечения новых компьютеров ИУС, а также технологии его тестирования и отработки. Опыт, полученный в ходе первого этапа модернизации, позволяет утверждать, что созданная на новых принципах и оборудовании ИУС российского сегмента МКС станет современной системой, позволяющей в автоматическом режиме реализовывать самые амбициозные космические эксперименты на базе МКС, которая является уникальной космической лабораторией. Эффективность проведенной модернизации подтверждается результатами, полученными в процессе сопровождения космических экспериментов на базе ИУС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Легостаев В.П., Марков А.В., Сорокин И.В. Целевое использование РС МКС: значимые научные результаты и планы на следующее десятилетие // Космическая техника и технологии. 2013. № 2. С. 3–18.
2. Применение новых информационных технологий для повышения эффективности целевого использования Российского сегмента МКС / Е.А. Микрин, А.В. Марков, И.В. Сорокин, С.И. Гусев, Д.Б. Пуган, И.В. Дунаева // XXXVI академические чтения по космонавтике. М., 2012. С. 449–450.
3. Пахмутов П.А., Скороход С.А., Бусарова Д.А. Концепция построения программного обеспечения бортовой цифровой вычислительной информационно-управляющей системы российского сегмента МКС // Труды РКТ. Сер. 12. Вып. 3. Королёв, 2012. С. 7–11.
4. Сумароков А.В. Об усреднении параметров орбитального движения МКС в космическом эксперименте GTS2 // Навигация и управление движением. Материалы XVI конференции молодых ученых. 2014. С. 334–341.

5. Микрин Е.А., Сумароков А.В., Зубов Н.Е., Рябченко В.Н. К вопросу решения задачи усреднения параметров орбитального движения Международной космической станции в ходе реализации космического эксперимента Global Transmission Services 2 // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2015. № 5. С. 3–17.
DOI: 10.18698/0236-3933-2015-5-3-17
6. Сумароков А.В. Наведение камеры высокого разрешения при видеосъемке поверхности Земли с МКС // Навигация и управление движением. Материалы XVII конференции молодых ученых. СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2015. С. 561–568.
7. Тимаков С.Н., Сумароков А.В., Нефедов С.Е., Богданов К.А. Наведение оптической оси телескопа, установленного на поворотной платформе МКС, с учетом упругости конструкции // Управление в морских и аэрокосмических системах (УМАС–2014). Материалы конференции. СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. С. 557–566.
8. Воронин Ф.А., Харчиков М.А. Сопровождение проведения научных экспериментов на Международной космической станции (на примере эксперимента «Напор-мини РСА») // XL академические чтения по космонавтике. М., 2016. С. 363.
9. Воронин Ф.А., Назаров Д.С. Разработка программного обеспечения информационно-управляющей системы Международной космической станции (на примере научных экспериментов «Терминатор», «МВН», «БТН-М2», «ИПИ-500») // XL академические чтения по космонавтике. М., 2016. С. 366–367.
10. *Urthecast* promo portal. Информационный портал.
Available at: <https://www.urthecast.com> (дата обращения: 27.04.2016).

Воронин Федор Андреевич — инженер-математик научно-технического центра ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» (Российская Федерация, 141070, Королёв, Московская обл., ул. Ленина, д. 4-а).

Пахмутов Павел Александрович — заместитель начальника отдела научно-технического центра ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» (Российская Федерация, 141070, Королёв, Московская обл., ул. Ленина, д. 4-а).

Сумароков Антон Владимирович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник научно-технического центра ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» (Российская Федерация, 141070, Королёв, Московская обл., ул. Ленина, д. 4-а).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Воронин Ф.А., Пахмутов П.А., Сумароков А.В. О модернизации информационно-управляющей системы российского сегмента Международной космической станции // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 1. С. 109–122.
DOI: 10.18698/0236-3933-2017-1-109-122

ON INFORMATION-CONTROL SYSTEM MODERNIZATION INTRODUCED IN THE RUSSIAN SEGMENT OF INTERNATIONAL SPACE STATION

F.A. Voronin

favoronin@gmail.com

P.A. Pakhmutov

Pavel.Pakhmutov@rsce.ru

A.V. Sumarokov

avsumarokov@gmail.com

S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia, Korolev, Moscow Region, Russian Federation

Abstract

The article deals with information-control system modernization of the Russian segment at the International Space Station. This system provides implementation of various space experiments conducted onboard the International Space Station. Due to the increasing complexity of space experiments to be conducted onboard the station, the existing performance capabilities and computational resources of the information-control system seem to be insufficient. In our paper we examine all stages of updating the information-control system and analyze the performance of already modernized equipment on the basis of the most significant experiments. Findings of the research show that the modernization was effective, and it was confirmed by the results obtained during the space experiments conducted on the basis of the information-control system

Keywords

International Space Station, space experiments, information-control system, onboard computer

REFERENCES

- [1] Legostaev V.P., Markov A.V., Sorokin I.V. The ISS Russian segment utilization: Research accomplishments and prospects. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2013, no. 2, pp. 3–18 (in Russ.).
- [2] Mikrin E.A., Markov A.V., Sorokin I.V., Gusev S.I., Putan D.B., Dunaeva I.V. Using new informational technologies for effective targeted use of Russian ISS segment. *Materialy XXXVI akademicheskikh chteniy po kosmonavtike* [XXXVI Academic Space Conference]. Moscow, 2012, pp. 449–450 (in Russ.).
- [3] Pakhmutov P.A., Skorokhod S.A., Busarova D.A. Software concept of on-board digital computing system of Russian ISS segment. *Trudy RKT. Ser. 12. Vyp. 3* [Proc. RKT. Ser. 12. No. 3]. Korolev, 2012, pp. 7–11 (in Russ.).
- [4] Sumarokov A.V. On parameters averaging of ISS orbital motion in GTS2 experiment. *Navigatsiya i upravlenie dvizheniem. Materialy XVI konferentsii molodykh uchenykh* [Navigation and motion control. Proc. XVI conf. of young scientists], 2014, pp. 334–341 (in Russ.).
- [5] Mikrin E.A., Sumarokov A.V., Zubov N.E., Ryabchenko V.N. Problem solution of averaging orbital motion parameters of the International space station during conducting the space experiment Global Transmission Services 2. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2015, no. 5, pp. 3–17 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3933-2015-5-3-17

- [6] Sumarokov A.V. High resolution camera point during Earth surface video recording from ISS. *Navigatsiya i upravlenie dvizheniem. Materialy XVII konferentsii molodykh uchenykh* [Navigation and motion control. Proc. XVII conf. of young scientists]. Sankt-Petersburg, OAO "Kontsern "TsNII "Elektropribor" Publ., 2015, pp. 561–568 (in Russ.).
- [7] Timakov S.N., Sumarokov A.V., Nefedov S.E., Bogdanov K.A. Optical axis steering of telescope based on ISS turntable taking into account structural elasticity. *Materialy konferentsii «Upravlenie v morskikh i aerokosmicheskikh sistemakh» (UMAS–2014)* [Proc. conf. "Control in marine and space systems" (UMAS–2014)]. Sankt-Petersburg, OAO "Kontsern "TsNII "Elektropribor", 2014, pp. 557–566 (in Russ.).
- [8] Voronin F.A., Kharchikov M.A. Accompanying carrying out scientific experiments on International space station (using the example of "Napor-mini RSA experiment"). *XL akademicheskie chteniya po kosmonavtike* [XL Academic Space Conference]. Moscow, 2016, p. 363 (in Russ.).
- [9] Voronin F.A., Nazarov D.S. Developing software of ISS information management system (using the example of «TERMINATOR», «MVN», «BTN-M2», «IPI-500» experiments). *XL akademicheskie chteniya po kosmonavtike* [XL Academic Space Conference]. Moscow, 2015, pp. 366–367 (in Russ.).
- [10] Urthecast promo portal. Informational portal. Available at: <https://www.urthecast.com> (accessed 27.04.2016).

Voronin F.A. — engineer-mathematic of Research and Development Centre, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (Lenina ul. 4-a, Korolev, Moscow Region, 141070 Russian Federation).

Pakhmutov P.A. — Deputy Head of Department of Research and Development Centre, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (Lenina ul. 4-a, Korolev, Moscow Region, 141070 Russian Federation).

Sumarokov A.V. — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher of Research and Development Centre, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (Lenina ul. 4-a, Korolev, Moscow Region, 141070 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Voronin F.A., Pakhmutov P.A., Sumarokov A.V. On Information-Control System Modernization Introduced in the Russian Segment of International Space Station. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2017, no. 1, pp. 109–122. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-1-109-122

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru www.baumanpress.ru

Подписано в печать 07.02.2017

Формат 70 × 108/16

Усл.-печ. л. 11,00

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии».
109316, Москва, Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 5.
Тираж 100 экз.