

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

© 2017

Ф. А. Воронин инженер-математик 1 категории научно-технического центра;
Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва, г. Королёв;
fvtscce@yandex.ru

И. В. Дунаева начальник сектора научно-технического центра;
Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва, г. Королёв;
Irina.Dunaeva@rsce.ru

Рассматривается разработка информационно-управляющей системы (ИУС) российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС). ИУС служит для обеспечения проведения космических экспериментов в автоматическом или ручном режиме управления от экипажа. В целях создания высокотехнологичных условий проведения научных исследований на РС МКС в РКК «Энергия» ведутся работы по модернизации ИУС на служебном модуле (СМ), созданию ИУС на планируемом многоцелевом лабораторном модуле «Наука» (МЛМ) и научно-энергетическом модуле (НЭМ). Задача модернизации ИУС возникла в 2012 году. На тот момент в состав ИУС СМ входили Laptop экипажа, сетевые средства Ethernet и 4 бортовых компьютера. Процесс создания информационно-управляющих систем и их программного обеспечения для проведения научных экспериментов на долговременных орбитальных станциях не регламентировался формализованными технологиями. Основная задача при разработке новых средств заключалась в устранении разнородности используемых аппаратно-программных решений и проектировании архитектуры системы для её последующего расширения на новых модулях с учётом опыта разработки и отработки интегрированных систем управления на российском сегменте МКС. На первом этапе была запланирована замена одного компьютера, входящего в состав ИУС СМ. Целью первого этапа модернизации являлось тестирование новых аппаратно-программных средств на борту для подтверждения правильности выбранных проектных подходов. Вторым этапом в построении ИУС СМ планируется замена оставшихся компьютеров. Основная цель этапа связана с увеличением количества одновременно проводимых экспериментов на СМ РС, сокращением срока их разработки и повышением эффективности и качества ИУС. Практическим результатом модернизации ИУС СМ стало проведение ряда высокотехнологичных научных экспериментов. В 2014 году совместно с компанией UtrheCast (Канада) на МКС были установлены две съёмочные камеры. В настоящее время идёт наземная подготовка эксперимента с научной аппаратурой «Икарус», проводимого совместно с Германским центром авиации и космонавтики, компанией SpaceTech GmbH (Германия). Опыт, полученный в ходе первого этапа модернизации, позволяет утверждать, что ИУС РС МКС станет современной системой, позволяющей в автоматическом режиме реализовывать самые амбициозные космические эксперименты на базе МКС.

Информационно-управляющая система; МКС; космические эксперименты; научная аппаратура.

Цитирование: Воронин Ф.А., Дунаева И.В. Информационно-управляющая система для проведения научных экспериментов на международной космической станции // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 1. С. 20-30. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-1-20-30

Введение

Со времени запуска первых орбитальных станций (ОС) и до сегодняшнего дня одним из перспективнейших направлений использования ракетно-космической техники является проведение научных космических экспериментов (КЭ). Схема проведения экспериментов менялась с течением времени. Проведение первых экспериментов, проводимых на ОС «Салют», представляло собой выполнение измерений, передачу данных

на Землю и их запись на магнитные носители для дальнейшей передачи постановщику КЭ. С запуском ОС «Салют-4» и особенно станций «Салют-6,7» данный подход изменился, появились первые средства для управления, контроля, экспресс-обработки научной информации в центре управления полётом (ЦУП), что привело к появлению термина «управляемый эксперимент» [1]. Данный подход позволил повысить качество получаемых научных данных. При выполнении экспериментов на орбитальном комплексе (ОК) «Мир» появилась возможность передавать научную информацию некоторым постановщикам и участникам исследований благодаря наличию специальных каналов связи между ЦУП и, например, Институтом космических исследований РАН, европейскими центрами управления и др.

В настоящее время главной площадкой для реализации управляемых экспериментов является Международная космическая станция. По сравнению со своими предшественниками (станции «Салют», «Мир») созданию МКС сопутствовало существенное развитие вычислительной техники, что значительно расширило возможности по реализации управляемых экспериментов [2].

Ранее процесс создания информационно-управляющих систем их программного обеспечения для проведения научных экспериментов на долговременных орбитальных станциях не регламентировался формализованными технологиями. В связи с увеличением количества проводимых на борту МКС экспериментов необходимо было уйти от частного подхода при их реализации и разработать открытую автоматическую систему, позволяющую легко интегрировать новые эксперименты в её состав, унифицировав вопросы управления и контроля работоспособности аппаратуры из состава экспериментов.

Ключевыми модулями российского сегмента МКС для проведения КЭ являются служебный модуль и планируемые многоцелевой лабораторный модуль «Наука», научно-энергетический модуль. В целях создания высокотехнологичных условий проведения научных исследований на РС МКС в РКК «Энергия» ведутся работы по созданию информационно-управляющей системы на новых модулях, модернизации на уже существующих и объединению их вместе с бортовым комплексом управления (БКУ) в единую информационную среду [3; 4].

Основными задачами информационно-управляющей системы являются:

- управление и информационная поддержка научных экспериментов в автоматическом и ручном режимах;
- организация бортовой локальной вычислительной сети Ethernet;
- медицинское обеспечение экипажа;
- информационная и психологическая поддержка экипажа.

Задача модернизации ИУС возникла в 2012 году в связи с окончанием гарантийного срока службы и периодических отказов компьютеров существующих аппаратно-программных средств информационно-управляющей системы МКС на СМ.

На тот момент в состав информационно-управляющей системы СМ входили Laptop экипажа, сетевые средства Ethernet и четыре бортовых компьютера.

Компьютер БСВ-М является одним дублированным прибором, работающим в «холодном» резерве. Прибор является «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.

Особо следует отметить, что в силу различных причин все перечисленные компьютеры имели различную аппаратную архитектуру и разнородное программное обеспечение, что привело к трудностям замены по мере их выхода из строя.

Основная задача при разработке новых средств заключалась в проектировании архитектуры ИУС на основе унифицированных аппаратно-программных средств с возможностью её последующего расширения на новых модулях РС МКС.

К разрабатываемой системе предъявляются следующие ключевые требования:

- унификация аппаратных средств с учётом последующей модернизации ИУС;
- унификация программного обеспечения ИУС;
- возможность интеграции вычислительных средств БКУ и ИУС в единую вычислительную систему;
- унификация средств управления и контроля за системой;
- разработка, отработка и сопровождение ИУС и его программного обеспечения (ПО) на основе единой технологии с использованием стендов имитационного моделирования.

На рис. 1 представлена схема ИУС до модернизации. На рисунке применены следующие обозначения: МКО – мультиплексный канал обмена; CAN1/2 CM, CAN3/4 CM – шины CAN CM РС МКС; Регул, БИТС2-12, РСПИ – радиосистема связи с Землёй; БСММ, БСПН, БСВ-М1, БСВ-М2 – компьютеры ИУС CM; ТВМ CM, ЦВМ CM – компьютеры бортового комплекса управления, осуществляющие управление движением и навигацией МКС и управление различными системами и приборами МКС.

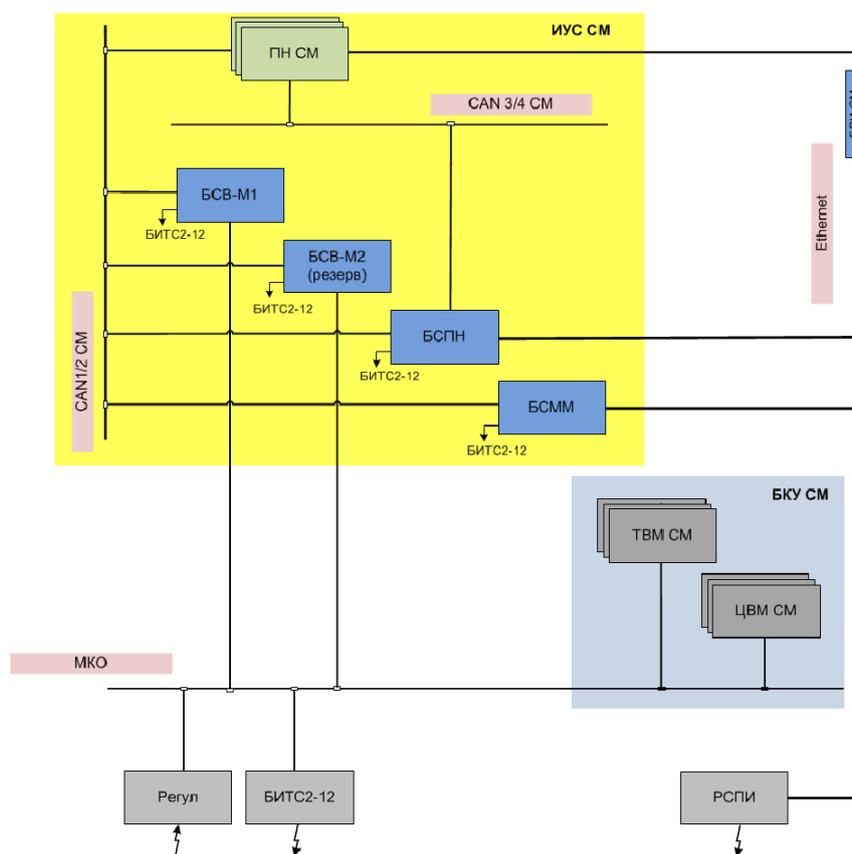


Рис. 1. Структура ИУС до модернизации

Первый этап модернизации

На первом этапе была запланирована замена одного компьютера, входящего в состав ИУС. Целью первого этапа модернизации являлось тестирование новых аппаратно-программных средств на борту для подтверждения правильности выбранных проек-

ных подходов. Была произведена замена прибора БСММ прибором на новой аппаратной платформе ТВМ1-Н СМ (рис. 2).

В качестве аппаратной платформы был спроектирован в РКК «Энергия» и изготовлен в компании «Элкус» (г. Санкт-Петербург) компьютер БКИПН (рис. 3). Компьютер построен на архитектуре Intel с процессором Celeron частотой 400 МГц, двумя твердотельными накопителями 8 и 32 Гб и имеет широкий набор интерфейсных плат для сопряжения с полезными нагрузками: CAN, МКО (MIL 1553), Ethernet, RS422.

Данные компьютеры в количестве семи штук планируется использовать в качестве вычислительных средств в ИУС СМ и МЛМ РС МКС. Следует отметить, что использование вычислительных средств одной модели позволит повысить аппаратную надёжность системы и обеспечит её унификацию.

Программное обеспечение для компьютеров ИУС на новой аппаратной платформе было разработано в РКК «Энергия». Одним из основных принципов разработки ПО являлась его модульность и возможность унификации для различных компьютеров ИУС.

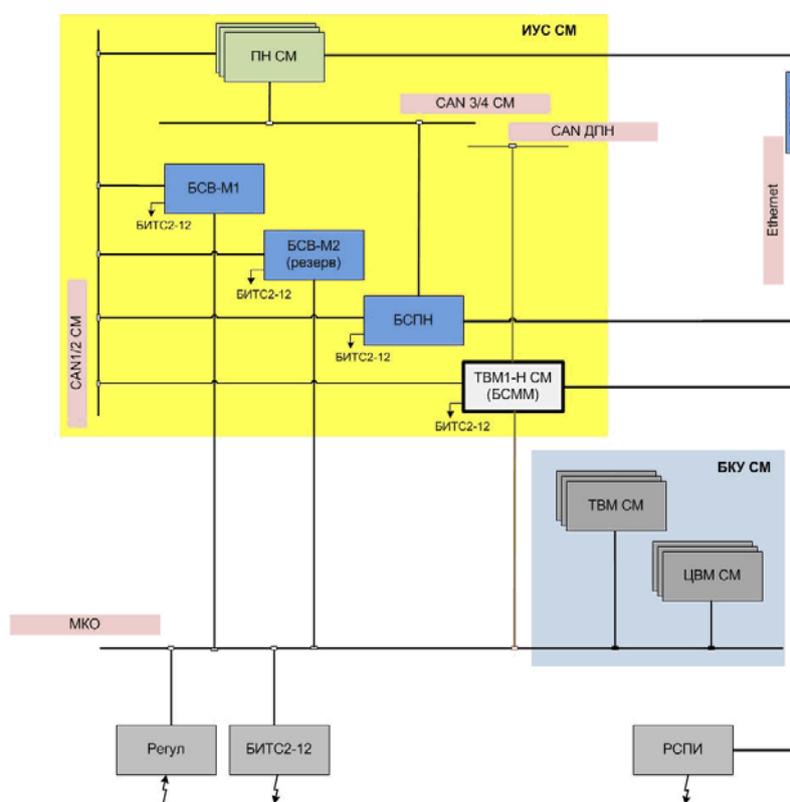


Рис. 2. Структура ИУС РС МКС на первом этапе модернизации



Рис. 3. Внешний вид компьютера БКИПН

При создании программных средств компьютера были выделены основные архитектурные принципы его проектирования:

- возможность его унификации для всех компьютеров ИУС;
- унификация средств управления и контроля за работой ПО из центра управления полётом МКС;
- унификация протоколов обмена с научной аппаратурой.

В связи с этим программное обеспечение было разделено на базовое (далее по тексту «ядро»), единое для всех приборов, и на уникальное функциональное – для обеспечения работы ПН (зависящее от назначения компьютера).

На рис. 4 представлена структурная схема унифицированного программного обеспечения компьютеров ИУС. Базовое ПО (ядро) состоит из системного и сервисного ПО. Системное ПО предоставляет стандартные механизмы для организации вычислительного процесса; компоненты обмена, обеспечивающие обмен по различным стандартным интерфейсам ИУС– CAN; Ethernet, RS-422, МКО.

Сервисное ПО ИУС реализует стандартные механизмы управления ПО ИУС – выполнение команд, сбор цифровой телеметрии, маршрутизацию данных, формирование баллистико-навигационных данных и др. На рис. 4 представлены его следующие составляющие: МПВУ – модуль программно-временного управления; ТМ – компонент формирования телеметрической информации; БНО – компонент баллистико-навигационного обеспечения.

Программные компоненты управления полезными нагрузками (ПК ПН) разрабатываются индивидуально для каждого из компьютеров ИУС по отдельному техническому заданию.

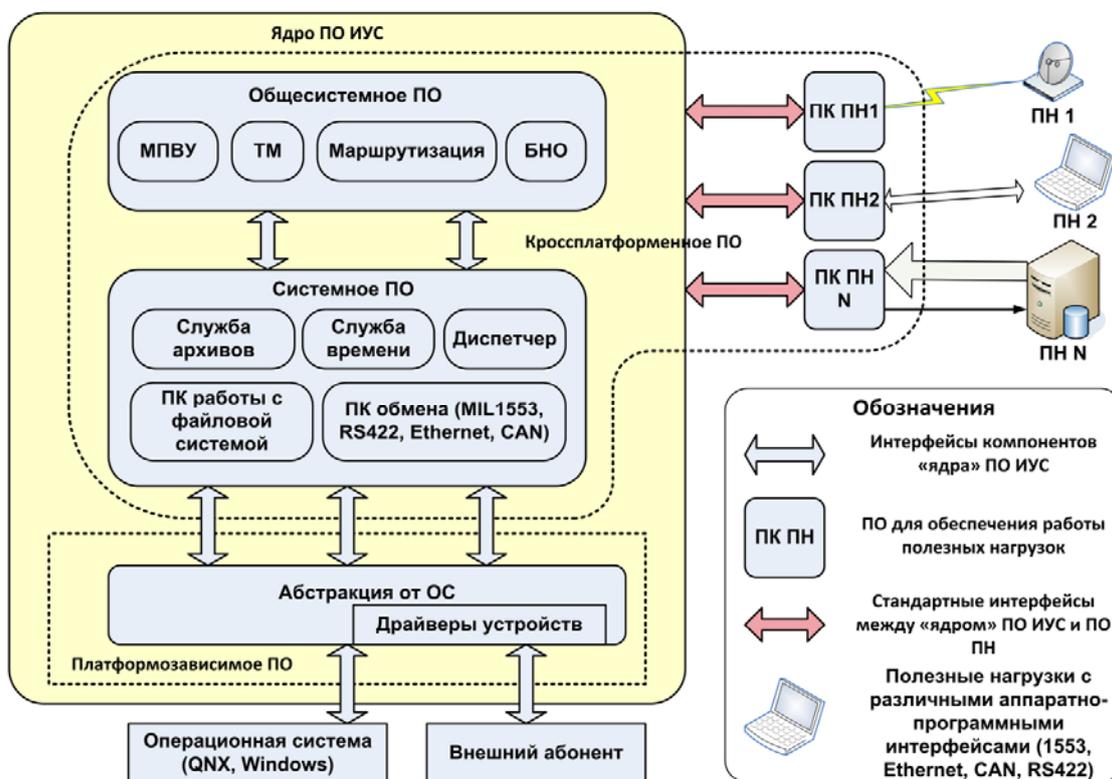


Рис. 4. Структурная схема программного обеспечения компьютера ИУС

Опираясь на вышеуказанные принципы, в рамках целевого использования ИУС СМ было разработано ПО ТВМ1-Н СМ [3 – 5]. Ввиду всё нарастающей сложности 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 ПО ИУС отвечает за обеспечение научных экспериментов данными точного времени и баллистико-навигационного обеспечения (БНО).

Ключевой особенностью первого этапа модернизации является то, что в новом компьютере ТВМ1-Н СМ в результате объединения вычислительных систем БКУ и ИУС стала доступна информация о текущем угловом и пространственном положении МКС, которая поступает непосредственно из системы управления движением и навигации СМ по МКО с минимальными задержками. При этом компьютер ТВМ1-Н СМ использует данную информацию не только в алгоритмах управления полезными нагрузками, но и передаёт её по каналу Ethernet всем заинтересованным потребителям, имеющим соответствующий интерфейс приёма и передачи данных. Практика проведения научных экспериментов на борту МКС показала, что указанный набор данных достаточно практически для любого проводимого эксперимента. Передаваемые параметры движения МКС позволяют определять текущее положение и ориентацию МКС, а также экстраполировать данные параметры на заданное время.

Второй и последующие этапы модернизации

Вторым этапом в построении ИУС СМ планируется замена оставшихся компьютеров и их ПО. Основной целью этапа является увеличение количества проводимых экспериментов на СМ РС. Замена приборов и новое ПО повысит надёжность аппаратно-программных средств, увеличит количество интерфейсов для подключения ПН и суммарную вычислительную мощность всей системы. Сократятся сроки разработки научной аппаратуры, повысится эффективность и качество ИУС.

На третьем этапе модернизации должны быть решены задачи разработки ИУС МЛМ. В состав ИУС МЛМ входят три компьютера ТВМ1-Н, ТВМ2-Н, ЦВМ-Н. 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.

Четвёртый этап модернизации ИУС будет выполнен после введения в состав РС МКС научно-энергетического модуля. Таким образом, после запуска модулей МЛМ и НЭМ на РС МКС будет организована единая локальная вычислительная сеть управления научной аппаратурой и проведения экспериментов, которая обеспечит возможность использования аппаратных и информационных ресурсов одного модуля для проведения экспериментов на других. На рис. 5 изображена полная схема ИУС РС МКС после модернизации и прибытия новых модулей.

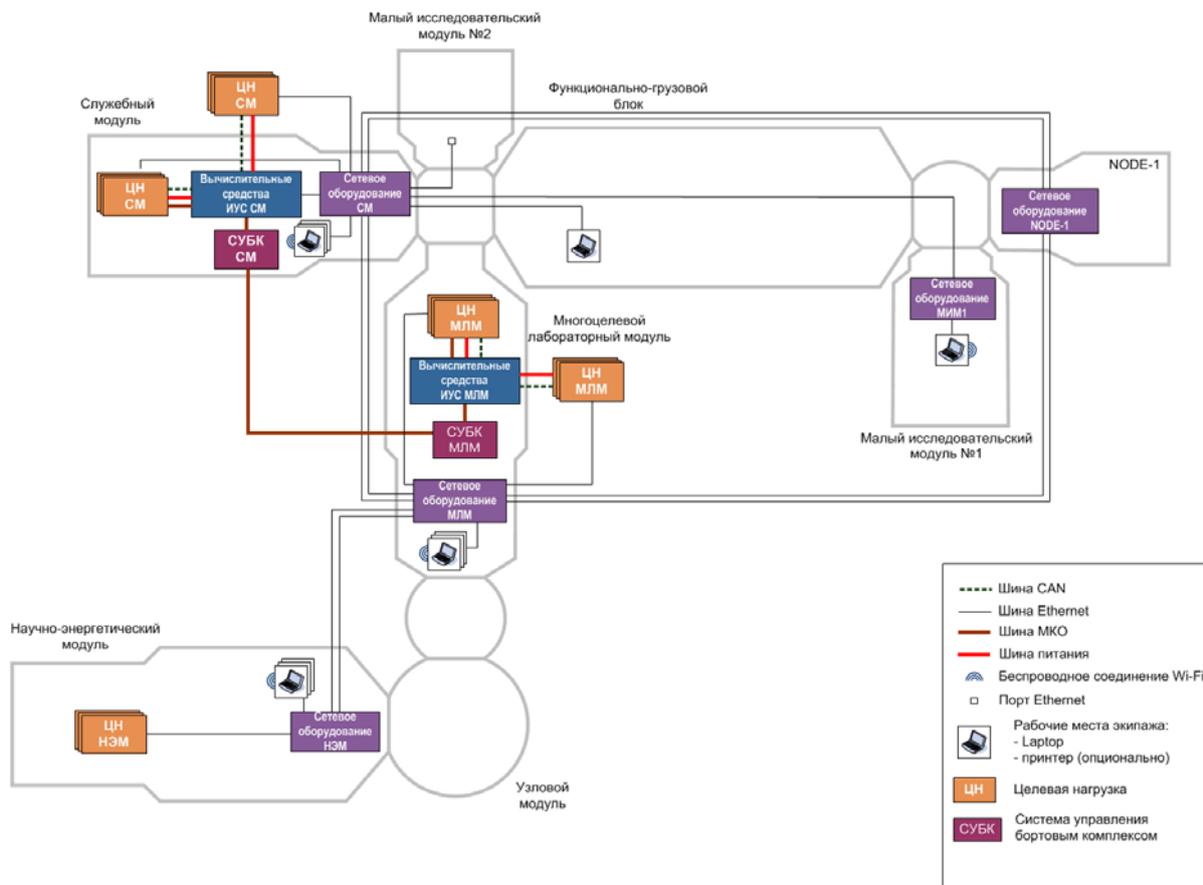


Рис. 5. Структура ИУС РС МКС после модернизации и прибытия новых модулей

Испытания и отработка разработанной системы

Создаваемая в РКК «Энергия» в рамках первого и второго этапов модернизации ИУС концепция комплексной организации разработки и испытаний ИУС РС МКС и его ПО предусматривает раннюю функциональную интеграцию аппаратно-программных средств ИУС, ПН и БКУ с последующей отработкой на стендах имитационного моделирования [4]. Для этого в процессе модернизации ИУС спроектированы и разработаны средства наземного комплекса отработки компьютеров ИУС и их ПО [6]. Для отработки взаимодействия компьютеров ИУС и научной аппаратуры используются специально разработанные математические модели научной аппаратуры [7; 8].

Результат первого этапа модернизации

Практическим результатом использования нового компьютера и разработанного ПО после доставки и монтажа на МКС в результате первого этапа модернизации ИУС стала возможность проведения ряда высокотехнологичных научных экспериментов.

В 2013 году был проведён эксперимент «Дальность», целями которого являлось исследование и использование сигналов системы глобального времени с борта МКС для уточнения параметров орбитального движения. Результаты эксперимента применяются при создании наземных систем определения параметров орбитального движения космических аппаратов (КА), использующих беззапросные измерения наклонной дальности и радиальной скорости. Управление и контроль аппаратуры эксперимента «Даль-

ность» осуществлялись с компьютера ТВМ1-Н СМ. Дополнительно компьютер ТВМ1-Н СМ осуществлял обработку баллистико-навигационной информации в необходимый для аппаратуры эксперимента «Дальность» формат.

В 2014 году совместно с канадской компанией UrtheCast начался эксперимент по дистанционному зондированию Земли с помощью системы оптических телескопов «Напор-МиниРСА» [9; 10]. Система оптических телескопов представляет собой две камеры, установленные на борту российского сегмента МКС. Первая камера среднего разрешения устанавливается неподвижно на внешней поверхности СМ по направлению в нади́р. Камера предназначена для съёмки 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 (ДПН). Данная камера предназначена для видеосъёмки участка подстилающей поверхности размером 5,36x3,56 км с проекцией пикселя на поверхность Земли 1,15 м (для высоты орбиты 350 км) со скоростью три кадра в секунду (время экспозиции одного кадра 0,3с). Установка на поворотной платформе позволяет осуществлять слежение за точкой на земной поверхности, небесным телом и снимать видеоизображения выбранного объекта. При реализации данного эксперимента ТВМ1-Н СМ осуществляет наведение ДПН на цели съёмки, обеспечивает управление и контроль аппаратуры системы оптических телескопов.

В настоящее время совместно с Германским центром авиации и космонавтики (DLR), институтом орнитологии Макса Планка, немецкой компанией SpaceTech GmbH проводится наземная подготовка космического эксперимента с научной аппаратурой «Икарус» [11]. Главной задачей эксперимента является слежение за перемещением животных, на которых будут закреплены датчики. На внешней поверхности МКС будет установлена антенна, предназначенная для приёма информации от датчиков с их местоположением. Компьютер ТВМ1-Н СМ отвечает за управление приборами, принимающими данные от датчиков.

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

Заключение

Рассмотрена модернизация информационно-управляющей системы российского сегмента МКС, проводимая в рамках создаваемой в РКК «Энергия» концепции комплексной организации разработки, испытаний и сопровождения ИУС РС МКС и его ПО. На примере реализации космических экспериментов показана эффективность нового оборудования и проведён анализ его работы в течение нескольких лет. 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 МКС, которая является уникальной космической лабораторией. Эффективность проведённой модернизации подтверждается результатами, полученными в ходе сопровождения космических экспериментов с использованием ИУС.

Библиографический список

1. Беляев М.Ю. Научные эксперименты на космических кораблях и орбитальных станциях. М.: Машиностроение, 1984. 264 с.
2. Беляев М.Ю. Пути и методы повышения эффективности целевого использования орбитальных станций // Сборник научных трудов «Проблемы и задачи повышения эффективности программ исследований на космических кораблях и орбитальных станциях». Серия XII, вып. 1-2. Королёв: РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, 2011. С. 16-27.
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 // Материалы XXXVI Академических чтений по космонавтике. М.: Московский государственный технический университет, 2012. С. 449-450.
4. Дунаева И.В., Воронин Ф.А., Карташев С.В., Харчиков М.А. Создание информационно-управляющей системы РС МКС: разработка и модернизация // Материалы XXXIX Академических чтений по космонавтике. М.: Московский государственный технический университет, 2015. С. 396.
5. 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») // Материалы XL Академических чтений по космонавтике. М.: Московский государственный технический университет, 2015. С. 366-367.
6. Воронин Ф.А., Карташев С.В., Харчиков М.А. Создание стенда сопровождения ИУС СМ РС МКС // Тезисы докладов XX научно-технической конференции молодых учёных и специалистов. Королёв: Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва, 2014. С. 169.
7. Назаренко Е.А., Воронин Ф.А., Карташев С.В. Проведение испытаний информационно-управляющей системы служебного модуля РС МКС в части системы оптических телескопов на наземном комплексе обработки // Молодёжный научно-технический вестник. 2014. № 14. С. 26.
8. Харчиков М.А., Воронин Ф.А., Карташев С.В. Программно-математическая модель прибора GTS-2, установленного на РС МКС // Молодёжный научно-технический вестник. 2014. № 7. С. 27.
9. Микрин Е.А., Гусев С.И., Дунаева И.В., Воронин Ф.А., Пахмутов П.А., Карташев С.В. Реализация на РС МКС эксперимента по дистанционному зондированию Земли с помощью системы оптических телескопов // Материалы XXXIX Академических чтений по космонавтике. М.: Московский государственный технический университет, 2015. С. 402.
10. Воронин Ф.А., Харчиков М.А. Сопровождение проведения научных экспериментов на Международной космической станции (на примере эксперимента «Напор-Мини РСА») // Материалы XL Академических чтений по космонавтике. М.: Московский государственный технический университет, 2015. С. 363-364.
11. Беляев М.Ю., Викельски М., Лампен М., Легостаев В.П., Мюллер У., Науманн В., Тертицкий Г.М., Юрина О.А. Технология изучения перемещения животных и птиц на земле с помощью аппаратуры ICARUS на Российском сегменте МКС // Космическая техника и технологии. 2015. № 3(10). С. 38-51.

INFORMATION CONTROL SYSTEM FOR SPACE EXPERIMENTS ONBOARD INTERNATIONAL SPACE STATION

© 2017

- F. A. Voronin** Applied mathematician, Research and Development Center;
Rocket and Space Corporation “Energia”, Moscow Region, Korolev, Russian
Federation;
fvrscce@yandex.ru
- I. V. Dunaeva** Head of Department, Research and Development Center;
Rocket and Space Corporation “Energia”, Moscow Region, Korolev, Russian
Federation;
Irina.Dunaeva@rsce.ru

The paper considers development of the Information Control System (ICS) of the Russian Segment of the International Space Station (ISS). The main ICS modules for carrying out scientific experiments comprise the Service Module, the Multipurpose Laboratory Module and the Science Power Module. At present specialists of “Energia” RSC are working to create high-tech conditions for scientific experiments on the new ISS modules, modernize the existing ones and combine them into a single onboard ISS information control complex. The information control system (ICS) is intended for automatic and manual control of space experiments. The effectiveness of modernization was confirmed by the results obtained during space experiments on the basis of the Information Control System. The ICS modernization started in 2012. At that time the ICS consisted of 4 onboard computers. The main task of ICS modernization was to introduce new computers and software-hardware systems. The software was supposed to have a flexible architecture and provide resources for all future onboard payloads. At the first stage one onboard computer was replaced. The main purpose of that stage was to test the new ISS hardware and software. The rest of the ICS computers will be replaced at the second stage, the Multipurpose Laboratory Module and the Science Power Module will also be equipped. The reliability of the system hardware is improved using functional backup. In 2014 2 cameras were installed on the ISS together with UrtheCast company (Canada). One of the cameras is a middle resolution camera; the other one is a high resolution camera. Today ground preparation of an experiment with “Icarus” scientific equipment is being carried out, jointly with the German Center of Aviation, DLR, and the SpaceTech company (Germany). The experience of the first stage of modernization suggests that the modernized ISS RS ICS will become an up-to-date system allowing the realization of most ambitious space experiments in automatic mode.

Information-control system; ISS; space experiments; payload.

Citation: Voronin F.A., Dunaeva I.V. Information control system for space experiments onboard international space station. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017. V. 16, no. 1. P. 20-30.
DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-1-20-30

References

1. Belyaev M.Yu. *Nauchnye eksperimenty na kosmicheskikh korablyakh i orbital'nykh stantsiyakh* [Scientific experiments on spacecraft and space stations]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1984. 264 p.
2. Belyaev M.Yu. Puti i metody povysheniya effektivnosti tselevogo ispol'zovaniya orbital'nykh stantsiy. *Sbornik nauchnykh trudov «Problemy i zadachi povysheniya effektivnosti programm issledovaniy na kosmicheskikh korablyakh i orbital'nykh stantsiyakh»*. Seriya XII, vyp. 1-2. Korolev: Raketno-kosmicheskaya Korporatsiya “Energia” Publ., 2011. P. 16-27. (In Russ.)
3. Mikrin E.A., Markov A.V., Sorokin I.V., Gusev S.I., Putan D.B., Dunaeva I.V. Primenenie novykh informatsionnykh tekhnologiy dlya povysheniya effektivnosti tselevogo ispol'zovaniya Rossiyskogo segmenta MKS. *Materialy XXXVI Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2012. P. 449-450. (In Russ.)

4. Dunaeva I.V., Voronin F.A., Kartashev S.V., Kharchikov M.A. Sozdanie informatsionno-upravlyayushchey sistemy RS MKS: razrabotka i modernizatsiya. *Materialy XXXIX Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2015. P. 396. (In Russ.)

5. Voronin F.A., Nazarov D.S. Razrabotka programnogo obespecheniya informatsionno-upravlyayushchey sistemy Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii (na primere nauchnykh eksperimentov «TERMINATOR», «MVN», «BTN-M2», «IPI-500»). *Materialy XL Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2016. P. 366-367. (In Russ.)

6. Voronin F.A., Kartashev S.V., Kharchikov M.A. Sozdanie stenda soprovozhdeniya IUS SM RS MKS. *Tezisy dokladov XX nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov*. Korolev: Raketno-kosmicheskaya korporatsiya «Energiya» Publ., 2014. P. 169. (In Russ.)

7. Nazarenko E.A., Voronin F.A., Kartashev S.V. Tests of the Information Control System of the ISS Russian Segment Service Module with regard to the optical telescope system at the ground development complex. *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskyy vestnik*. 2014. No. 7. P. 26. (In Russ.)

8. Kharchikov M.A., Voronin F.A., Kartashev S.V. Software-mathematical model of GTS-2 devices installed on the ISS. *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskyy vestnik*. 2014. No. 7. P. 27. (In Russ.)

9. Mikrin E.A., Gusev S.I., Dunaeva I.V., Voronin F.A., Pakhmutov P.A., Kartashev S.V. Realizatsiya na RS MKS eksperimenta po distantsionnomu zondirovaniyu Zemli s pomoshch'yu sistemy opticheskikh teleskopov. *Materialy XXXIX Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2015. P. 402. (In Russ.)

10. Voronin F.A., Kharchikov M.A. Soprovozhdenie provedeniya nauchnykh eksperimentov na Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii (na primere eksperimenta «Napor-Mini RSA»). *Materialy XL Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2015. P. 363-364. (In Russ.)

11. Belyaev M.Yu., Wikelski M., Lampen M., Legostaev V.P., Muller U., Naumann W., Tertitsky G.M., Yurina O.A. Technology for studying movements of animals and birds on Earth using ICARUS equipment on the Russian segment of the ISS. *Space Engineering and Technology*. 2015. No. 3(10). P. 38-51. (In Russ.)