

КОНТРОЛЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЖИВОТНЫХ НА ЗЕМЛЕ С ПОМОЩЬЮ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ НА РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

М.Ю. Беляев, Ф.А. Воронин, М.А. Харчиков

ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, 141070, Московская область, г. Королев, ул. Ленина, д. 4а

post@rsce.ru

Рассмотрена задача контроля перемещения животных на Земле из космического пространства. Указано, что для решения этой задачи используется научная аппаратура, установленная на российском сегменте Международной космической станции. На примере космического эксперимента «Ураган» с аппаратурой «Икарус» рассмотрены методы и средства контроля перемещения животных. Дано краткое описание аппаратуры «Икарус» космического эксперимента «Ураган», представлен общий принцип ее работы. Описаны бортовые и наземные средства проведения эксперимента с аппаратурой «Икарус». В качестве бортовых средств представлена информационно-управляющая система, в качестве наземных — стенды имитационного моделирования и комплекс обработки целевой информации от научной аппаратуры «Икарус» (банк данных аппаратуры «Икарус»). Рассмотрены дальнейшие возможности и перспективы контроля перемещения животных и различных объектов на Земле из космического пространства.

Ключевые слова: МКС, научная аппаратура, космический эксперимент, программное обеспечение, информационно-управляющая система, мониторинг

Ссылка для цитирования: Беляев М.Ю., Воронин Ф.А., Харчиков М.А. Контроль перемещения животных на Земле с помощью научной аппаратуры, установленной на российском сегменте Международной космической станции // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 4. С. 49–58.

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-49-58

На Международной космической станции (МКС) имеется орбитальная лаборатория для выполнения разнообразных исследований. В частности, на российском сегменте проводятся работы по следующим направлениям:

- человек в космосе;
- космическая биология и биотехнология;
- исследование Земли и космоса;
- физико-химические процессы и материалы в условиях космоса;
- технология освоения космического пространства;
- образование и популяризация космических исследований.

Кроме того, важным направлением исследований является отработка различных приборов и технологий для последующего их использования в решении многих научных и прикладных задач [1, 2].

В целях отработки аппаратуры, предназначенной для наблюдений за земной поверхностью и определения применимости методов оценки развития потенциально опасных и катастрофических явлений на Земле, а также изучения других происходящих процессов на российском сегменте МКС был организован космический эксперимент «Ураган» [2, 3]. Одна из его задач связана с отработкой аппаратуры, предназначенной для наблюдения за перемещениями животных на Земле, и методов их контроля. В связи с этим на российский сегмент МКС была доставлена научная аппаратура «Икарус» [4]. Отметим, что задача мониторинга миграции

животных решается на протяжении многих лет и относится к весьма важным. Считается, что понимание причин перемещения животных и птиц поможет найти ответы на такие глобальные вопросы, как причины распространения заболеваний и позволит прогнозировать потенциально опасные явления, такие, например, как извержения вулканов и др.

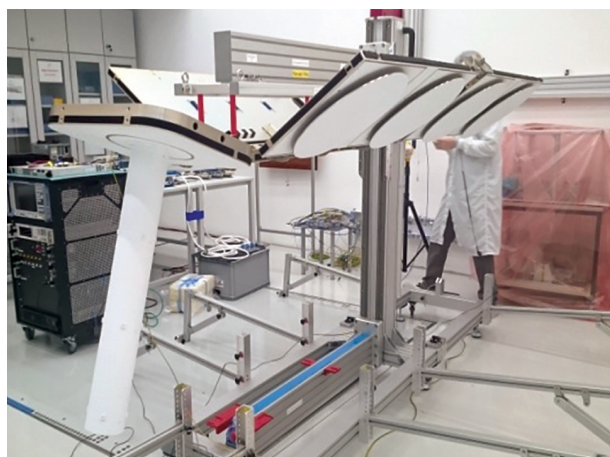
Цель работы

Целью работы является слежение из космоса за перемещением животных, на которых закреплены наземные GPS-трекеры (теги), на всей территории земной поверхности, в том числе в тех местах, где отсутствует сотовая связь. [4, 5].

Материалы и методы

Космический эксперимент с научной аппаратурой «Икарус» проводится в кооперации с Германским центром авиации и космонавтики (DLR), Институтом географии РАН, Обществом научных исследований имени Макса Планка (Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V., MPG), немецкой компанией SpaceTech GmbH.

Научная аппаратура «Икарус». Аппаратура предназначена для проведения космического эксперимента «Ураган» (постановщик — РКК «Энергия»), одной из задач которого является оценка из космоса развития на Земле потенциально опасных и чрезвычайных явлений [3]. Ее доставка и интеграция на российский сегмент МКС была осуществлена в августе 2018 г.



a



б



в

Рис. 1. Общий вид аппаратуры «Икарус»: *a* — наземные испытания антенн аппаратуры «Икарус»; *б* — подготовка управляющего компьютера аппаратуры «Икарус» к работе на российском сегменте МКС; *в* — датчики, закрепляемые на животных

Fig. 1. General view of Ikarus equipment: *a* — ground tests of the antennas of Ikarus equipment; *б* — preparation of Ikarus equipment control computer for work on the ISS Russian segment; *в* — sensors mounted on animals

В состав комплекса аппаратуры «Икарус» входят бортовые антенны, управляющий компьютер и специализированные GPS-трекеры (теги) (рис. 1, 2). Антенный блок состоит из приемной и передающей антенн, предназначенных для передачи и получения информации от тегов. Управляющий компьютер формирует файлы с целевой информацией на основе сигнала, полученного антенным блоком.

Тег определяет свое местоположение посредством системы GPS и записывает его в свою внутреннюю память. От антенного блока тег получает данные об орбите станции в формате TLE (two line elements), на основании которых рассчитывает очередное время пролета МКС над тегом. В рассчитанное время тег начинает передавать информацию на российский сегмент МКС. Для экономии заряда батареи у тега требуется высокая точность определения времени очередного пролета МКС над ним, поэтому на борту МКС аппаратура «Икарус» синхронизируется с временем GPS с точностью до одной миллисекунды.

Управление аппаратурой проводится средствами информационно-управляющей системы (ИУС) [5], а передача файлов в ЦУП-М — штатными средствами российского сегмента МКС.

Данные поступают в ЦУП-М в бинарном виде, после чего их дешифруют постановщики эксперимента, в частности специалисты немецкой и российской сторон.

Проведение эксперимента потребовало использования бортового и наземного оборудования, в том числе имеющихся аппаратно-программных средств, а также были разработаны новые средства для проведения исследований.

Бортовой сегмент. Основные задачи бортового сегмента:

- автоматизированный контроль работы целевой аппаратуры;
- управление аппаратурой;
- передача целевой информации, получаемой в ходе проведения эксперимента.

Бортовой сегмент состоит из комплекса целевых нагрузок (КЦН), ИУС и средств передачи данных.

Для облегчения процесса стандартизации и унификации вся аппаратура объединена в КЦН, что позволяет использовать стандартизированные интерфейсы по работе с научной аппаратурой в части управления, контроля и предоставления сопроводительной информации, т. е. данных о местоположении станции, TLE, точном времени и т. д.) [6, 7].

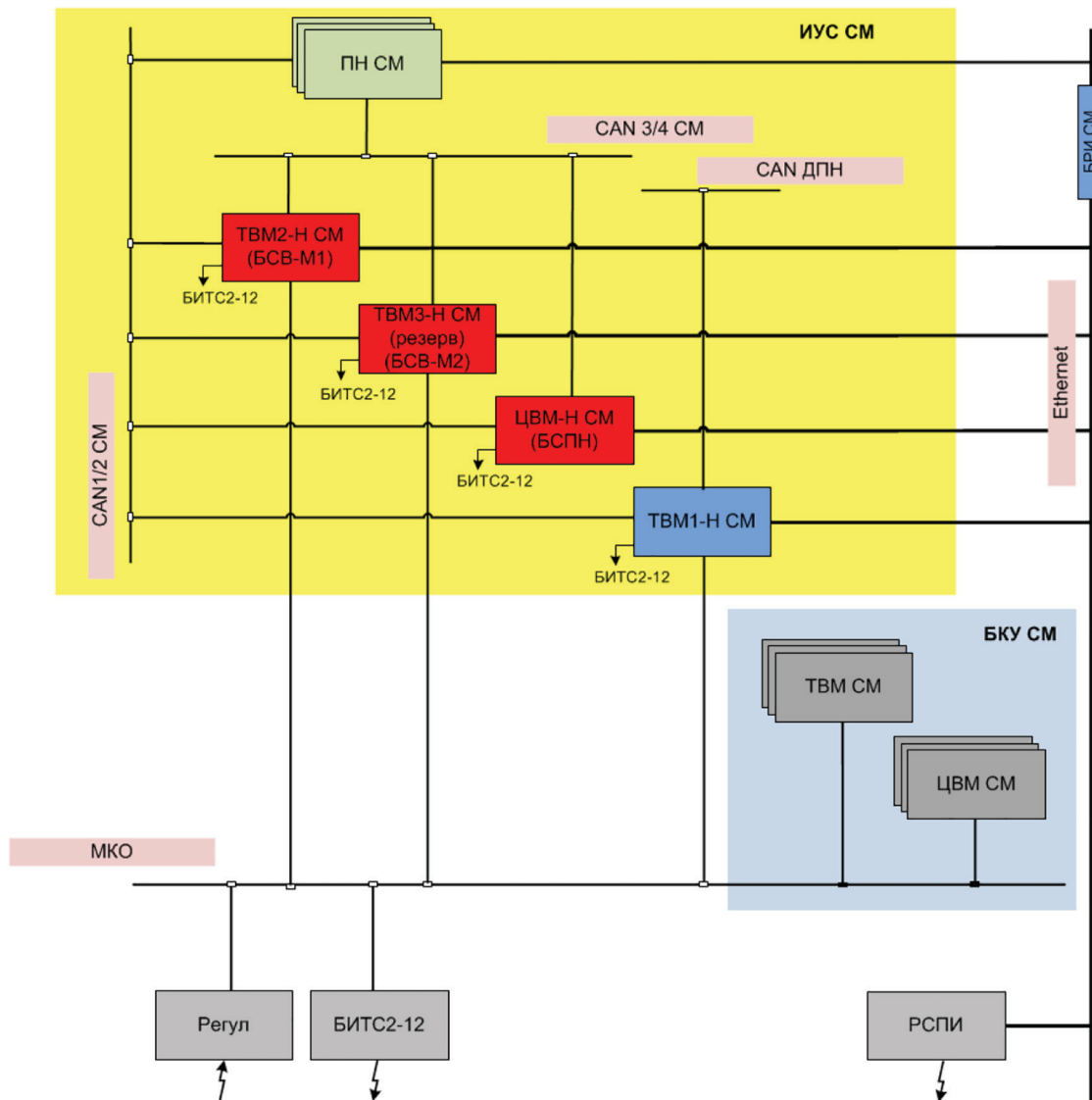


Рис. 3. Структурная схема информационно-управляющей системы: БИТС — бортовая информационно-телеметрическая система; БКУ — бортовой комплекс управления; БРИ — блок размножения интерфейсов служебного модуля; ДПН — двухосевая платформа наведения; ИУС — информационно-управляющая система; МКО — мультиплексный канал обмена; ПН — полезная нагрузка; РСПИ — радиотехническая система передачи информации; CM — служебный модуль; ТВМ1-Н — терминальная вычислительная машина 1 — «Наука»; ЦВМ-Н — центральная вычислительная машина — «Наука»

Fig. 3. The structural diagram of the information management system: БИТС — on-board information and telemetry system; БКУ — on-board control complex; БРИ — a block of propagation of the service module interfaces; ДПН — two-axis guidance platform; ИУС — information management system; МКО — multiplexed exchange channel; ПН — payload; РСПИ — radio engineering information transmission system; CM — service module; ТВМ1-Н — terminal computing machine 1 — «Nauka»; ЦВМ-Н — central computing machine — «Nauka»

Для решения задач автоматизированного управления полезными нагрузками в РКК «Энергия» спроектирована и разработана ИУС, представляющая собой совокупность аппаратно-программных средств, интегрированных в единую систему (рис. 3).

Основные задачи ИУС:

- 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.

Информационно-управляющая система поддерживает управление аппаратурой по различным интерфейсам — CAN 2.0b, RS 422, Ethernet и др. В качестве вычислительных средств в ней используются компьютеры БКИПН (блок контроля интерфейсов полезных нагрузок), что повышает аппаратную надежность системы и обеспечивает ее унификацию [6–8].

Для управления научной аппаратурой потребовалась разработка программного обеспечения (ПО). Одним из основных принципов его разработки стала его модульность и возможность унификации между различными компьютерами ИУС. Программное обеспечение ИУС подразделяется на ядро, предоставляющее базовые функции по управлению научной аппаратурой, и на уникальное функциональное ПО, предназначенное для управления конкретной научной аппаратурой [8].

Решение задачи управления аппаратурой «Икарус» потребовало создания нового модуля управления для программного обеспечения ИУС. В феврале 2018 г. на бортовой компьютер ИУС была установлена новая версия ПО с компонентом управления научной аппаратуры «Икарус», включающим в себя следующие задачи:

- формирование на борту команд и их отправки в аппаратуру «Икарус» в автоматическом режиме или поступающих с Земли (из ЦУП-М);
- постоянный контроль телеметрии от научной аппаратуры «Икарус»;
- парирование расчетных нештатных ситуаций (НШС).

Поступающие команды подразделяются на два типа: бинарные команды и команды для реализации заданной циклограммы работы. Бинарные команды выполняются сразу после их получения: задается режим работы аппаратуры; осуществляется оперативное получение информации о различных модулях аппаратуры. При реализации заданной циклограммы работы используются командные файлы, формируемые на Земле.

Контроль работы аппаратуры осуществляется с помощью статусной информации, периодически передаваемой аппаратурой на компьютер ИУС. Набор контролируемых параметров достаточно велик, поэтому их контроль осуществляется в автоматическом режиме. В случае превышения каким-либо параметром допустимого значения информация об этом передается в ЦУП-М.

В программном обеспечении ИУС для управления научной аппаратурой «Икарус» заложены алгоритмы парирования расчетных НШС, выявленных при наземных испытаниях аппаратуры или полученных от ее разработчиков. С помощью имеющихся возможностей управления аппаратурой программные средства ИУС позволяют парировать многие НШС.

Еще одной задачей бортового сегмента является получение целевой информации с помощью ПО, подготавливающего информацию, направляемую научной аппаратурой, к ее сбросу на Землю. Передача информации осуществляется российскими средствами связи. Кроме ее подготовки ПО проверяет целостность данных и контролирует их вследствие ограниченности объема передаваемой в сутки информации.

Наземный сегмент. Для проектирования и разработки наземного сегмента, а также его взаимодействия с бортовым сегментом, были созданы средства, позволяющие осуществлять разработку, интеграцию, сопровождение и обработку целевых данных научной аппаратуры «Икарус». Наземный сегмент решает следующие задачи:

- формирование и ежедневную обработку управляющей информации;
- оценку контрольно-диагностических параметров аппаратуры «Икарус»;
- обработку целевых данных аппаратуры.

Космический эксперимент с научной аппаратурой «Икарус» требует ежедневного управления с Земли. В соответствии с концепцией управления все команды (бинарные или в виде файлов) проходят обработку на стендах имитационного моделирования в РКК «Энергия» из состава наземного комплекса обработки (НКО) (рис. 4). Их отличительной особенностью является возможность работы как с реальной аппаратурой, так и с моделью аппаратуры, что позволяет экономить машинное время и ускоряет процесс проведения испытаний [9].

Обеспечение обработки управляющей информации для научной аппаратуры «Икарус» стало возможно за счет интеграции ее математической модели с реальным ПО в состав стенда. Такой подход позволяет полностью моделировать работу управляющего компьютера.

Формирование файлов с управляющей информацией осуществляется аппаратно-программными средствами ЦУП. На основе данных, которые предоставляют разработчики аппаратуры, научная аппаратура «Икарус» поддерживает возможность отслеживания положения до 120 наземных датчиков одновременно, поэтому для охвата всех функционирующих тегов необходима ежедневная реконфигурация списка опрашиваемых тегов, что реализуется путем отправки командного файла на российский сегмент МКС, где средствами ИУС файл маршрутизируется и доставляется до управляющего компьютера научной аппаратуры «Икарус». Файлы также содержат команды для управления тегами и команды на получение расширенного набора данных о состоянии различных модулей аппаратуры «Икарус», а также различные конфигурационные настройки.

При проведении эксперимента использовались средства оценки контрольно-диагностических параметров аппаратуры [10]. Для осуществления оперативного контроля за ходом проведения эксперимента, выявления тенденций, которые могут повлечь за собой возникновение НШС, были применены средства оценки параметров в пост-реальном времени. Анализ осуществлялся на основе архивов, формируемых компьютером ИУС.

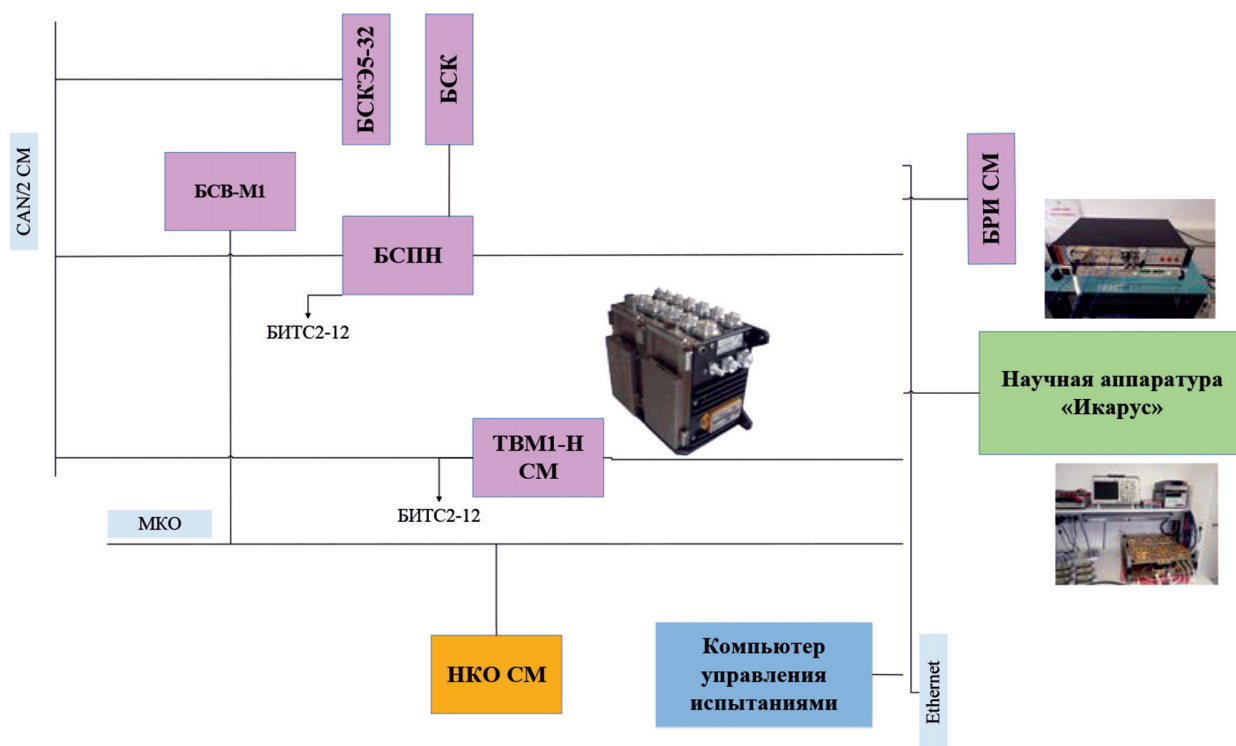


Рис. 4. Структурная схема стенда имитационного моделирования с моделью «Икарус»: БИТС — бортовая информационно-телеметрическая система; БРИ — блок размножения интерфейсов служебного модуля; БСВ-М — блок синхронизации времени — модернизированный; БСК — блок силовой коммутации; БСКЭ5-32 — блок силовой коммутации электронный; МКО — мультиплексный канал обмена; НКО — наземный комплекс отработки; ПН — полезная нагрузка; РСПИ — радиотехническая система передачи информации; СМ — служебный модуль; ТВМ1-Н — терминальная вычислительная машина 1 — «Наука»

Fig. 4. Structural diagram of a simulation stand with the Ikarus model: БИТС — airborne information and telemetry system; БРИ — a block of propagation of the service module interfaces; БСВ-М — time synchronization unit — modernized; БСК — power switching unit; БСКЭ5-32 — power switching unit electronic; МКО — multiplexed exchange channel; НКО — ground-based mining complex; ПН — payload; РСПИ — radio engineering information transmission system; СМ — service module; ТВМ1-Н — terminal computing machine 1 — «Nauka»

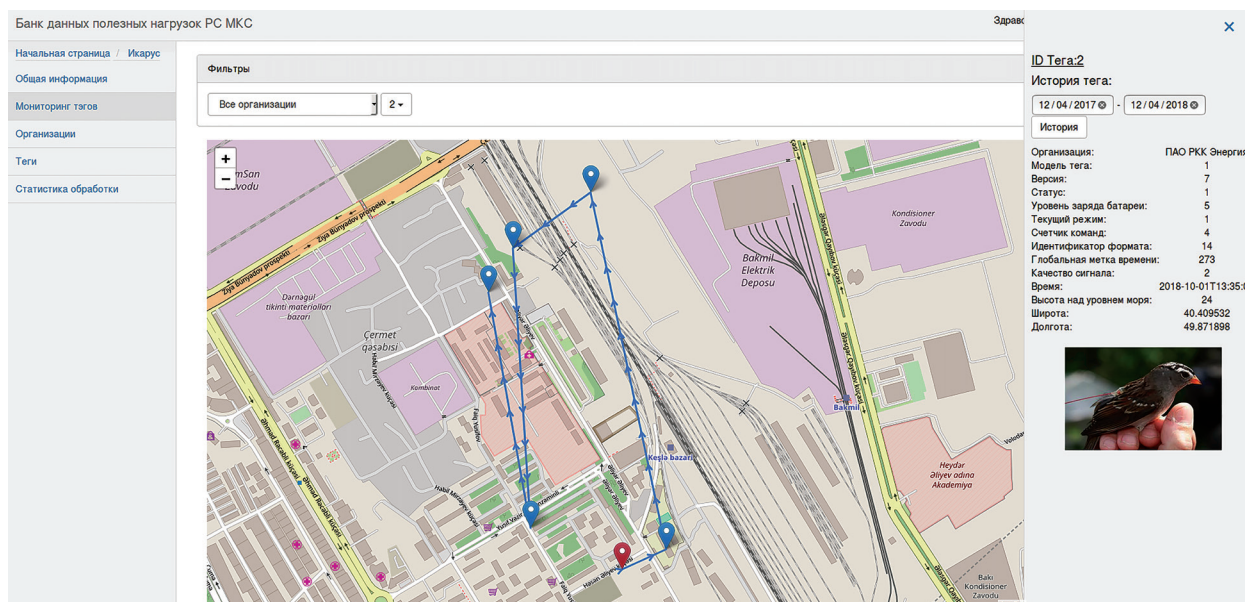


Рис. 5. Главное окно банка данных научной аппаратуры «Икарус»
Fig. 5. The main window of the database of scientific equipment «Ikarus»

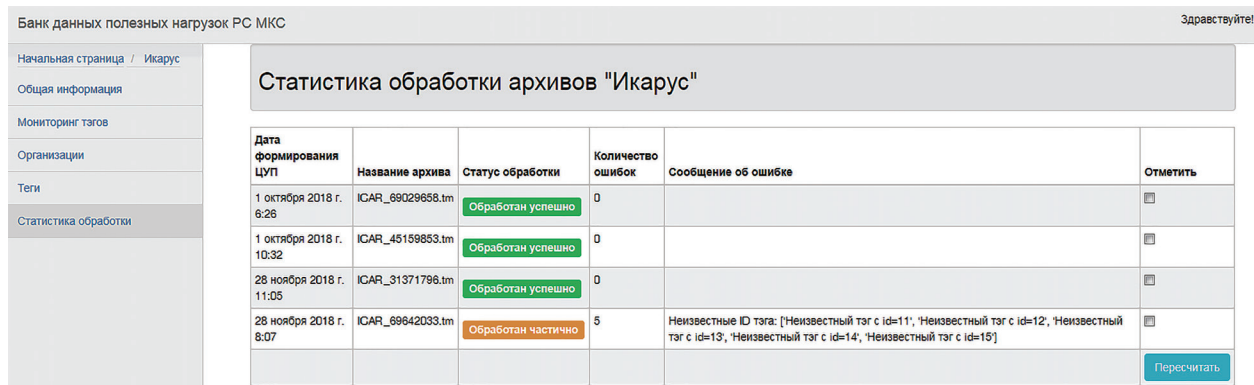


Рис. 6. Интерфейс пользователя со статистикой обработки целевой информации
Fig. 6. User interface with statistics for processing target information

Архивы поступали в ЦУП, после чего проходили обработку с помощью аппаратно-программных средств НКО. Информация записывалась в базу данных, что обеспечивало доступ специалистов к ней на протяжении всего времени проведения эксперимента. Средства также поддерживали возможность отправки архивов разработчикам аппаратуры для более детального анализа данных. Анализ данных позволил выявить тенденции и спрогнозировать НШС в работе аппаратуры. Помимо этого с помощью данных средств были проанализированы уже возникшие НШС.

Для обработки целевой информации эксперимента потребовалась разработка средств дешифрования целевых данных космического эксперимента «Ураган» с научной аппаратуры «Икарус». С этой целью, а также для решения задач каталогизации и предоставления данных участникам эксперимента в РКК «Энергия» был разработан банк данных для научной аппаратуры «Икарус». Экспериментаторы и специалисты по научной аппаратуре составили следующие требования к этому банку данных:

- визуализация информации о перемещении тегов;
- контроль несанкционированного использования тегов;
- контроль работоспособности тегов;
- архивация и хранение данных на всем периоде эксплуатации научной аппаратуры «Икарус».

Поскольку основная информация — это данные о местоположении тегов, целесообразно наносить данную информацию на карту изучаемого участка земной поверхности (рис. 5). Для этого в состав банка данных был интегрирован картографический сервер на основе карт Open Street Map (OSM), что дало возможность работать с системой без подключения к интернету.

В ходе эксплуатации тегов возможны их поломка или формирование ложных данных. Система осуществляет контроль и оповещает пользователя, если какой-либо тег присылает

недостовверную информацию либо не присылает данные в течение длительного времени. Для этого разработан специальный интерфейс администратора системы.

В банке данных хранится полный список организаций, за которыми закреплены те или иные теги: как российские, так и зарубежные. Получение информации о зарубежных тегах (информация об организации — владелец тега; животном, на котором тег закреплен, и время установки тега) происходит за счет взаимодействия с центром данных пользователей, находящимся в Германии.

Все теги имеют уникальные идентификаторы, и как только с российского сегмента МКС поступает целевая информация с данными от тегов, информации о которых нет в системе, специалисты незамедлительно оповещаются о возникшей ошибке. Благодаря этому можно определить, что теги были несанкционированно использованы какой-либо организацией.

Система осуществляет архивацию информации, которая поступает от научной аппаратуры «Икарус» — в «сыром» и обработанном виде. Таким образом, в случае появления модернизированных алгоритмов по обработке есть возможность провести повторную обработку имеющихся архивов или архивов, при дешифровании которых возникла ошибка. Система автоматически перерабатывает ошибочные данные. Пользователю также доступен интерфейс (рис. 6), где он может инициировать данный процесс в ручном режиме.

В рамках эксперимента предполагается также создать единую систему предоставления данных ее пользователям, которыми могут быть как коммерческие, так и государственные компании, расположенные на территории РФ или за ее пределами. Система может предоставлять данные о перемещении объекта непосредственно пользователю, за которым закреплен объект. Таким образом, будет доступен единый сервис предоставления данных по контролю перемещения объектов.

В настоящее время закончена разработка первой версии системы. Следующий этап — отработка системы с реальными данными тегов, после чего будет проведена ее доработка на основе результатов проверок, тогда система будет готова для промышленной эксплуатации.

Выводы

Отработка представленной технологии на МКС — первый этап развития системы контроля перемещения животных, успешное окончание которого позволит создать такую систему по всему Земному шару, обеспечивая доступность информации об объекте на всем пути его перемещения. Именно этим вопросам посвящен космический эксперимент «Ураган» с научной аппаратурой «Икарус», который проводится на российском сегменте МКС. Впоследствии предполагается применение полученных результатов на автоматических космических аппаратах.

Кроме того, в качестве отслеживаемых объектов могут выступать перевозимые грузы, различная перемещающаяся техника, подвижные сельскохозяйственные объекты. Возможна интеграция целевых данных выполняемого эксперимента с результатами других экспериментов, проводимых на МКС в целях изучения земной поверхности [3, 11, 12].

Список литературы

- [1] Беляев М.Ю. Научные эксперименты на космических кораблях и орбитальных станциях. М.: Машиностроение, 1984. С. 264.
- [2] Беляев М.Ю., Легостаев В.П. Научная и экономическая отдача программ орбитальных станций — основа стабильного развития отечественной космонавтики // Проблемы и задачи повышения эффективности программ исследований на космических кораблях и орбитальных станциях. Сб. науч. тр. РКК «Энергия» им. С.П. Королева, 2011. Сер. XII. Вып. 1–2. С. 5–15.
- [3] Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю., Юрина О.А. Изучение катастрофических явлений и экологических проблем с российского сегмента МКС. // Материалы I Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Секция «Проблемы ракетной и космической техники», Калуга, 5–17 сентября 2015 г. Казань: Казанский ун-т, 2016. С. 79–97.
- [4] 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. С. 38–51.

- [5] Волков О.Н., Воронин Ф.А., Назаров Д.А., Харчиков М.А. Решение задач управления научной аппаратурой «ИКАРУС» в Международной кооперации по изучению миграции животных с борта РС МКС // Материалы LI Научных чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 19–21 сентября 2017. Калуга: Эйдос, 2017. С. 161.
- [6] Пахмутов П.А., Скороход С.А., Бусарова Д.А. Концепция построения программного обеспечения бортовой цифровой вычислительной информационно-управляющей системы российского сегмента МКС // Тр. РКТ, 2012. Сер. 12. Вып. 3. С. 7–11.
- [7] Дунаева И.В., Воронин Ф.А., Карташев С.В., Харчиков М.А. Создание информационно-управляющей системы РС МКС: разработка и модернизация // Актуальные проблемы космонавтики: Тр. XXXIX Академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства. Москва, 27–30 января 2015 г. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. С. 396.
- [8] 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») // Тр. XL Академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королева. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. С. 366–367.
- [9] Воронин Ф.А., Карташев С.В., Харчиков М.А. Создание стенда сопровождения ИУС СМ РС МКС // Тезисы докладов XX научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Королев: РКК «Энергия», 2014. С. 169.
- [10] Воронин Ф.А., Харчиков М.А. Сопровождение проведения научных экспериментов на Международной космической станции (на примере эксперимента «Напор-Мини РСА») // Тр. XL Академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королева. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. С. 363.
- [11] Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю., Сармин Э.Э., Юрина О.А. Аппаратура и программно-математическое обеспечение для изучения земной поверхности с борта российского сегмента Международной космической станции по программе «Ураган». // Космонавтика и ракетостроение, 2015. № 1. С. 63–70.
- [12] Belyaev M.Y., Cheremisin M.V., Esakov A.M. Integrated monitoring of earth surface from onboard ISS Russian segment // 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1–5 October 2018, published by the IAF, pp. 1–9.

Сведения об авторах

Беляев Михаил Юрьевич — зам. руководителя НТЦ, начальник отдела ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, post@rsce.ru

Воронин Федор Андреевич — ведущий инженер-математик ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, post@rsce.ru

Харчиков Михаил Александрович — инженер-программист II категории ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, post@rsce.ru

Поступила в редакцию 19.04.2019.

Принята к публикации 15.07.2019.

ANIMAL MOVEMENT CONTROL ON EARTH USING SCIENTIFIC EQUIPMENT INSTALLED ON THE ISS RS

M.Yu. Belyaev, F.A. Voronin, M.A. Kharchikov

Korolev Rocket and Space Corporation «Energia», 4a, Lenina st., 141070, Korolev, Moscow reg., Russia

post@rsce.ru

The issue of animal movement control on Earth from outer space is considered. It is indicated that scientific equipment installed on the Russian segment of the International Space Station is used for this purpose. On the example of the space experiment «Hurricane» with the equipment «Ikarus» methods and means of controlling the movement of animals are considered. A brief description of the Ikarus equipment of the Hurricane space experiment is given, the general principle of its operation is presented. Airborne and ground-based facilities for conducting an experiment with Ikarus equipment are described. An information management system is presented as airborne equipment, simulation modeling stands and a complex of processing target information from Ikarus scientific equipment (Ikarus equipment data bank) as ground-based systems. Further possibilities and prospects of controlling the movement of animals and various objects on Earth from outer space are considered.

Keywords: ISS, scientific equipment, space experiment, software, information and control system, monitoring

Suggested citation: Belyaev M.Yu., Voronin F.A., Kharchikov M.A. *Kontrol' peremeshcheniya zhivotnykh na zemle s pomoshch'yu nauchnoy apparatury, ustanovlennoy na rossiyskom segmente Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii* [Animal movement control on Earth using scientific equipment installed on the ISS RS]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 4, pp. 49–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-49-58

References

- [1] Belyaev M.Yu. *Nauchnye eksperimenty na kosmicheskikh korablyakh i orbital'nykh stantsiyakh* [Scientific experiments on spacecrafts and orbital stations]. Moscow: Mashinostroenie, 1984, 264 p.
- [2] Belyaev M.Yu., Legostaev V.P. *Nauchnaya i ekonomicheskaya otдача programm orbital'nykh stantsiy — osnova stabil'nogo razvitiya otechestvennoy kosmonavтики* [Scientific and economic impact of the orbital station programs is the basis of stable development of the national cosmonautics]. *Problemy i zadachi povysheniya effektivnosti programm issledovaniy na kosmicheskikh korablyakh i orbital'nykh stantsiyakh. Sbornik nauchnykh trudov RKK «Energia» im. S.P. Koroleva* [Problems and tasks of increasing the efficiency of research programs on spacecraft and orbital stations. Collection of scientific papers, RSC «Energia» them. S.P. Korolev, series XII], 2011, ser. XII, v. 1–2, pp. 5–15.
- [3] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Yurina O.A. *Izuchenie katastroficheskikh yavleniy i ekologicheskikh problem s rossiyskogo segmenta MKS* [Study of catastrophic phenomena and environmental problems from the Russian segment of the ISS]. *Trudy L Chteniy K.E. Tsiolkovskogo. Sektsiya «Problemy raketnoy i kosmicheskoy tekhniki»*, [Materials of the 50th Tsiolkovsky readings. Section «Problems of rocket and space technique»] Kaluga, 5–17 September 2015. Kazan': Kazanskiy un-t, 2016, pp. 79–97.
- [4] Belyaev M.Yu., Vikel'ski M., Lampen M., Legostaev V.P., Myuller U., Naumann V., Tertitskiy G.M., Yurina O.A. *Tekhnologiya izucheniya peremeshcheniya zhivotnykh i ptits na Zemle s pomoshch'yu apparatury ICARUS na Rossiyskom segmente MKS* [Technology of studying the movement of animals and birds on the Ground using ICARUS equipment on the Russian segment of the ISS]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space engineering and technologies], 2015, no. 3, pp. 38–51.
- [5] Volkov O.N., Voronin F.A., Nazarov D.A., Kharchikov M.A. *Reshenie zadach upravleniya nauchnoy apparatury «IKARUS» v Mezhdunarodnoy kooperatsii po izucheniyu migratsii zhivotnykh s borta RS MKS* [Solving the problems of management of scientific equipment «ICARUS» in the International cooperation on the study of animal migration from the ISS RS.]. *Materialy 52-kh Nauchnykh chteniy pamyati K.E. Tsiolkovskogo* [Materials of the 52th Tsiolkovsky readings] Kaluga, 19–21 September 2017. Kaluga: Eydos, 2017, p. 161.
- [6] Pakhmutov P.A., Skorokhod S.A., Busarova D.A. *Kontseptsiya postroeniya programmnoy obespecheniya bortovoy tsifrovoy vychislitel'noy informatsionno-upravlyayushchey sistemy rossiyskogo segmenta MKS* [The concept of building software onboard digital computer information management system of the Russian segment of the ISS.]. *Trudy RKT* [Materials of the RST], 2012, ser. 12, v. 3, pp. 7–11.
- [7] Dunaeva I.V., Voronin F.A., Kartashev S.V., Kharchikov M.A. *Sozdanie informatsionno-upravlyayushchey sistemy RS MKS: razrabotka i modernizatsiya // Aktual'nye problemy kosmonavтики: Trudy XXXIX akademicheskikh chteniy po kosmonavtike, posvyashchennykh pamyati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydayushchikhsya otechestvennykh uchenykh — pionerov osvoeniya kosmicheskogo prostranstva* [Proceedings of XXXIX Academic readings on cosmonautics]. Moscow: MGТУ im. N.E. Bauman, 2015, p. 396, 555 p.
- [8] Voronin F.A., Nazarov D.S. *Razrabotka programmnoy obespecheniya informatsionno-upravlyayushchey sistemy Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii (na primere nauchnykh eksperimentov «TERMINATOR», «MVN», «BTN-M2», «IPI-500»)* [Software development of the information and control system of the International space station (on the example of scientific experiments «TERMINATOR», «MVN», «BTN-M2», «IPI-500»)]. *XL Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike* [XL Academic readings in astronautics]. Moscow: MGТУ im. N.E. Bauman, 2016, pp. 366–367.
- [9] Voronin F.A., Kartashev S.V., Kharchikov M.A. *Sozdanie stenda soprovozhdeniya IUS SM RS MKS* [The creation of the support stand ICS ISS RS]. *Tezisy dokladov XX nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov* [Abstracts of the XX scientific and technical conference of young scientists and specialists. RSC «Energia»]. Korolev: RKK «Energia», 2014, p. 169.

- [10] Voronin F.A., Kharchikov M.A. *Soprovozhdenie provedeniya nauchnykh eksperimentov na Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii (na primere eksperimenta «Napor-Mini RSA»)* [Support of scientific experiments on the International space station (on the example of the experiment «Napor-Mini RSA»)]. XL Akademicheskie chteniya po kosmonavtike [XL Academic readings in astronautics]. Moscow: MGТУ im. N.E. Baumana, 2016, p. 363.
- [11] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. *Apparatura i programmno-matematicheskoe obezpechenie dlya izucheniya zemnoy poverkhnosti s borta rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii po programme «Uragan»* [Hardware and software for the study of the Earth's surface from the Board of the Russian segment of the international space station under the program «Uragan»]. Kosmonavtika i raketostroenie [Cosmonautics and rocket engineering], 2015, no. 1, pp. 63–70.
- [12] Belyaev M.Y., Cheremisin M.V., Esakov A.M. Integrated monitoring of earth surface from onboard ISS Russian segment. 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1–5 October 2018, published by the IAF, pp. 1–9.

Authors' information

Belyaev Mikhail Yur'evich — Deputy head of STC, Chief department of the RSC «Energia», post@rsce.ru
Voronin Fedor Andreevich — Lead engineer mathematician of the RSC «Energia», post@rsce.ru
Kharchikov Mikhail Aleksandrovich — software engineer II of the RSC «Energia», post@rsce.ru

Received 19.04.2019.

Accepted for publication 15.07.2019.