

Телеметрические средства обеспечения функционирования манипулятора ERA

© Л.А. Савин

ПАО «РКК «Энергия», г. Королёв, Московская обл., 141070, Россия

Рассмотрена эволюция программно-аппаратных средств телеметрического обеспечения функционирования манипулятора ERA. Описан текущий проект реализации наземных телеметрических средств робототехнических систем российского сегмента Международной космической станции. Выполнена сравнительная оценка российских и зарубежных элементов, входящих в состав указанных средств. Изложено авторское видение важных направлений дальнейшего развития наземных телеметрических средств российских робототехнических систем с учетом перспективы применения отечественных систем в составе пилотируемых комплексов.

Ключевые слова: Международная космическая станция, Центр управления полетами, манипулятор ERA, телеметрия

Введение. Одним из важнейших элементов управления космическим полетом является контроль за состоянием бортовых систем космического аппарата (КА) [1]. Комплекс сведений о реальном состоянии бортовых систем Международной космической станции (МКС) в Центре управления полетами Москвы (ЦУП-М) формируется на основе данных, поступающих от экипажа станции, а также по телевизионной и телеметрической аппаратуре. Для разных бортовых систем объемы информации каждого из указанных источников могут существенно различаться. Для робототехнических систем (РТС) МКС актуальны все три источника при явном приоритете телеметрических. Современные наземные телеметрические средства позволяют, с одной стороны, дублировать информацию, которая поступает на бортовые пульта управления РТС, тем самым позволяя снизить объем радиообмена с экипажем, с другой — дублировать ее частично или заменять собой телевизионные данные об оценке пространственного перемещения элементов РТС. В рамках подготовки к летным испытаниям Европейского роботизированного манипулятора ERA (European Robotic Arm) в ЦУП-М проводят работы по подготовке обеспечивающих наземных средств, в том числе и программно-аппаратных средств телеметрического обеспечения.

Перед описанием наземных телеметрических средств обеспечения функционирования РТС необходимо рассмотреть технологию формирования телеметрической информации РТС на борту МКС и соответствующую технологию ее наземной обработки.

В состав РТС российского сегмента МКС входят манипулятор ERA — изделие зарубежной разработки, а также различные зарубежные и отечественные системы и агрегаты. Формирование потока телеметрической информации от систем и агрегатов отечественного производства выполняется комплексно бортовой вычислительной системой (БВС) и системой бортовых измерений. Эта штатная для российского сегмента МКС схема в настоящей статье не рассматривается. Поток телеметрической информации от манипулятора и пультов управления им формируется с помощью специальных программ БВС, в задачу которых входят сбор так называемых телеметрических блоков от манипулятора и пультов, согласование тактовых частот выдачи блоков с тактами формирования кодовой телеметрической информации российского сегмента МКС и упаковка блоков в стандартные CCSDS-пакеты определенных размеров и адресации.

CCSDS-пакеты, содержащие телеметрические блоки манипулятора, передаются в общем потоке телеметрической информации российского сегмента МКС. На Земле технологический процесс ее получения должен содержать «обратные» операции: извлечение CCSDS-пакетов из общего потока телеметрической информации, восстановление телеметрических блоков и привязку полученных блоков к бортовому времени (т. е. к моментам времени их формирования на борту). В реальности описанные процессы сложнее, их детализация в рамках данной статьи представляется излишней.

Эволюция наземных телеметрических средств манипулятора ERA. Кроме манипулятора и сопряженного с ним оборудования, переданных российской стороне в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и Европейским космическим агентством об учреждении в РФ постоянного представительства Европейского космического агентства и его статусе от 1996 г. (далее — Соглашение (1996)) и предназначенных для эксплуатации на борту МКС, европейской стороной было поставлено оборудование для наземного обеспечения функционирования ERA. Оно состоит из трех отдельных программно-аппаратных комплектов — МРТЕ (Mission Preparation and Training Equipment, оборудование для подготовки миссий и обучения), предназначенных для решения определенных задач. Название комплектов частично раскрывает их назначение. По принятой терминологии миссией именуется как набор операций манипулятора, приводящий к достижению определенной цели, так и программа, записываемая во встроенный компьютер ERA и управляющая манипулятором на всех этапах операций.

Наибольшими возможностями обладает комплект МРТЕ-В1, развернутый в РКК «Энергия». Он позволяет выполнять весь комплекс работ по наземной подготовке функционирования манипулятора

ERA: от проектирования и разработки миссий до тренировок космонавтов по готовым миссиям. Кроме того, входящее в состав комплекта оборудование позволяет имитировать телеметрическую информацию, поступающую от манипулятора при выполнении запланированной миссии, обрабатывать ее и отображать в удобочитаемом виде. Оборудование комплекта МРТЕ-В1 дает возможность верифицировать разработанную миссию, отображая информацию о работе манипулятора в том виде, в котором она будет отображаться при выполнении реальной миссии на борту МКС.

Два других комплекта МРТЕ из числа поставленных в Россию обладают частью возможностей МРТЕ-В1 — МРТЕ-С, развернутый в Научно-исследовательском испытательном центре подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина (далее — НИИ ЦПК) предназначен для тренировок экипажа по готовым миссиям.

Комплект МРТЕ-В2 создавался для ЦУП-М как средство обработки и отображения телеметрической информации манипулятора. В соответствии с действовавшими на начало XXI в. планами развертывания российского сегмента МКС комплект МРТЕ-В2 был некоторое время инсталлирован в ЦУП-М и частично интегрирован с его штатными средствами [2]. В состав МРТЕ-В2 входили две специализированные ЭВМ: OLMS (On-Line Mission Support and Mission Evaluation — поддержка миссии в реальном времени и оценка миссии) и MS-IMMI (Mission Support Internal Man-Machine Interface, внутренний пульт поддержки миссии). Комплект был реализован на базе высокопроизводительных (в то время) рабочих станций Sun Ultra 5 и HP 9000.

Для сопряжения интерфейсов комплекта МРТЕ-В2 с локальными вычислительными сетями (ЛВС) ЦУП-М требовались два дополнительных компьютера. Для этого были использованы неспециализированные (типовые в то время) персональные компьютеры (ПК) типа Pentium III. Наряду с этим появилась необходимость еще в двух дополнительных ПК для расширения вычислительных возможностей телеметрического информационно-вычислительного комплекса (ИВК) (рис. 1). Дополнительные ПК предназначались для преобразования телеметрической информации в реальном времени во входной формат данных МРТЕ-В2, для подготовки пакетов информации в целях их передачи в МРТЕ-В2, для ручного ввода данных, подготовки и отладки программного обеспечения, используемого на этих ПК, и для попарного дублирования друг друга.

Дальнейшая эволюция электронно-вычислительной техники и программных компонентов позволила существенно упростить схему интеграции МРТЕ-В2 и избавиться от дополнительных ПК. Кроме того, стала возможна реализация MS-IMMI на базе ноутбука ThinkPad A31p. Именно на нем был создан внутренний пульт управления манипулятором.

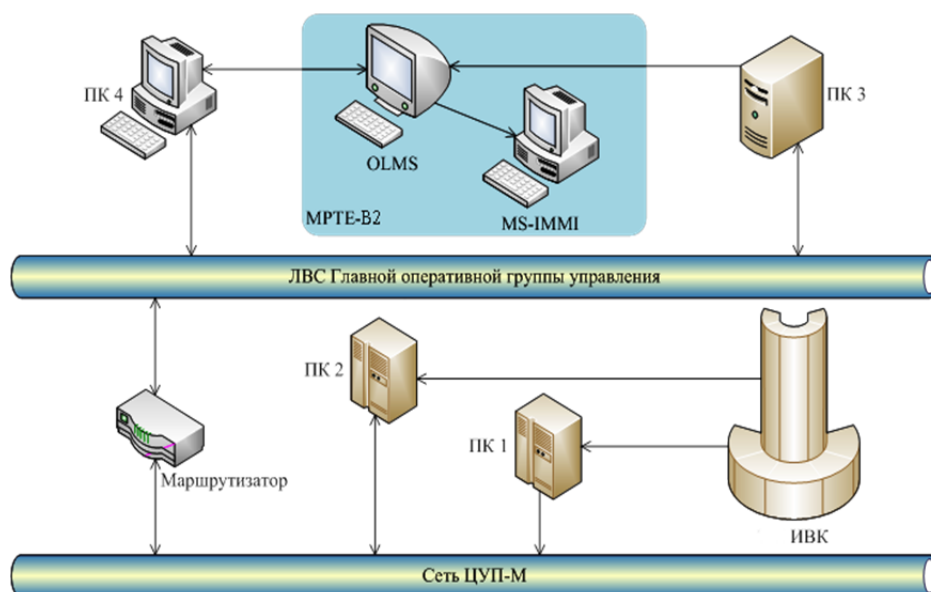


Рис. 1. Схема сопряжения оборудования МРТЕ-В2 со средствами ЦУП-М

Очевидно, что использование единственного телеметрического комплекта в составе наземных средств недопустимо. Сбои или отказы в работе комплекта частично либо полностью лишат специалистов Главной оперативной группы управления телеметрической информации о функционировании манипулятора. Оценка состояния РТС только по телеметрической информации систем и агрегатов российской поставки представляется крайне затруднительной, а в отношении пространственных перемещений манипулятора она вообще невозможна.

В связи с этим еще на этапе первичной инсталляции МРТЕ-В2 у российских специалистов появилось предложение использовать для обработки телеметрической информации манипулятора штатные средства ЦУП-М [2]. Позднее европейская сторона предложила вариант тиражирования МРТЕ с одновременным соблюдением собственных контрактных обязательств перед европейскими участниками проекта, в соответствии с которым предполагалось, что Главная оперативная группа управления предоставит ПК требуемой производительности, а представители ESTEC, центральной организации в проекте ERA, установят на эти ПК программное обеспечение МРТЕ в виде так называемых виртуальных машин, подробно описанных в работе [2]. В случае принятия такого предложения интеграция комплекта(тов) МРТЕ в состав ЦУП-М произошла бы по схеме, представленной на рис. 2.

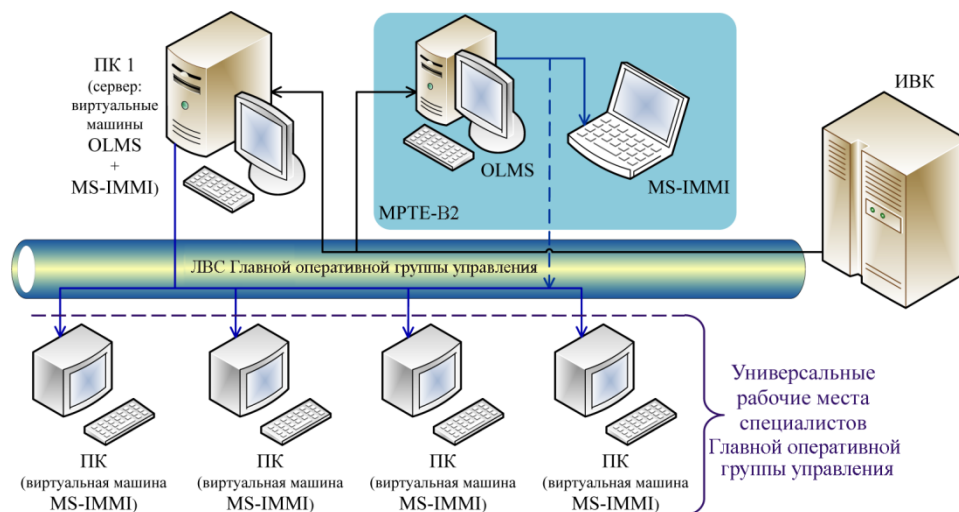


Рис. 2. Схема инсталляции оборудования МРТЕ-В2 с использованием виртуальных машин (проект 2013 г.)

Использование виртуальных машин наряду с надежным резервированием позволило решить и другую важную задачу. Упомянутое выше Соглашение (1996) предусматривало размещение в ЦУП-М группы европейских специалистов для оказания консультативной поддержки Главной оперативной группе управления при первых миссиях манипулятора. Кроме того, РТС — бортовые системы, интегрированные с другими системами, особенно с БВС и телевизионными, и управляют РТС с борта МКС космонавты под общим руководством с Земли. Поэтому информация о работе манипулятора и сопряженных систем требуется нескольким специалистам и их подгруппам из состава Главной оперативной группы управления. Размещение всех привлекаемых специалистов, включая иностранцев, вокруг одного комплекта МРТЕ-В2 представляло собой трудноразрешимую организационную задачу. Применение виртуальных машин позволило отображать информацию о работе манипулятора на нескольких рабочих местах Главной оперативной группы управления, причем не требовалось, чтобы они находились в одном помещении.

Параллельно с работами европейских специалистов по виртуальным машинам российская сторона реализовала предложение использовать для обработки телеметрической информации манипулятора штатные средства ЦУП-М. На основании предоставленного европейской стороной документа ERA Data Dictionary, содержащего полное описание каждого телеметрического параметра, были разработаны собственные алгоритмы извлечения и обработки телеметрической информации манипулятора. Это была трудоемкая, но несложная задача. Аналогичные работы выполняет Главная оперативная группа

управления при задании алгоритмов извлечения и обработки кодовой телеметрической информации российского сегмента МКС. В процессе работы появилась оригинальная идея: как обеспечить иностранцев телеметрической информацией, обработанной на собственных средствах ЦУП-М. Очевидно, что одинаковый (для российских и зарубежных специалистов) вид отображения телеметрических параметров облегчит взаимный обмен информацией, особенно во время оперативных работ, но использовать их одинаковые имена для русскоязычного и англоязычного отображения не позволяет вычислительный комплекс ЦУП-М. Поэтому в обработку были заданы два аутентичных списка телеметрических параметров. В англоязычном списке у каждого параметра одна из латинских букв была заменена на кириллическую. Для ЭВМ это две совершенно разные переменные, а человек такое различие может заменить только при внимательном рассмотрении. Иными словами, был использован психологический эффект восприятия человеком при чтении слов целиком, а не побуквенно (рис. 3).

The screenshot displays the ERA Data Dictionary Telemetry Dictionary interface. It shows the following information:

- Parameter ID:** 01-12-00
- Block:** 1
- Word:** 12
- Bits:** 0-15
- TM Source:** ECC
- TM Destination:** Ground/MMI
- Change Rate:** 2 Hz
- Processing in CPC:** Yes
- Validity:** TM Parameter valid at all times
- Data Type:** General Status Data
- Mnemonic:** MODE/SUBMODE
- Parameter Interpretation:**
 - (hex) 0000 - Initialization
 - (hex) 1000 - Stand-by / Operation Inhibited / subsystem initialization
 - (hex) 1400 - Stand-by / Operation Inhibited / subsystem ready
 - (hex) 1800 - Stand-by / Operation Granted
 - (hex) 2000 - Controlled Hold
 - (hex) 2400 - Compliant Hold
 - (hex) 2800 - Proximity Hold
 - (hex) 2C00 - ShyAW Joint Hold
 - (hex) 3000 - Free Move
 - (hex) 3400 - Proximity Move
 - (hex) 3800 - Compliant Move
 - (hex) 3C00 - Single ShyAW Joint Move
- Translation Table:**

MODE/SUB	MODE/SUB
0000: ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ	0000: INITIALIZATION
1000: ОЖИД/ОП/ПОДС ИНИ	1000: STBY S/S INITIAL
1400: ОЖИД/ОП/ПОДС ГОТ	1400: STBY S/S READY
1800: ОЖИД/ОПЕР РАЗРЕШ	1800: STBY/OPER GRANTD
2000: КОНТРОЛИР-Е УДЕР	2000: CONTROLLED HOLD
2400: ПОДАТЛИВОЕ УДЕРЖ	2400: COMPLIANT HOLD
2800: УДЕРЖ ПРИ СБЛИЖ	2800: PROXIMITY HOLD
2C00: УДЕР ШАРРЫСК ПЛЕ	2C00: SHYAW JOINT HOLD
3000: СВОБОДН ДВИЖЕНИЕ	3000: FREE MOVE
3400: ДВИЖЕНИЕ СБЛИЖЕН	3400: PROXIMITY MOVE
3800: ПОДАТЛИВ ДВИЖЕНИ	3800: COMPLIANT MOVE
3C00: ДВ ЕДШАР/ШАРЫСПЛ	3C00: SING./SHYAWJ MOV
ИНАЧЕ: ЗНАЧЕ НЕДЕЙСТВИТ	ИНАЧЕ: WORD NOT VALID

Рис. 3. Обработка и отображение телеметрической информации манипулятора ERA штатными телеметрическими средствами ЦУП-М

На рис. 2 видно, что виртуальные машины позволяют отказаться от использования «физического» комплекта МРТЕ-В2, а нужное количество «виртуальных» МРТЕ можно установить на ПК, вхо-

дящие в состав универсальных рабочих мест специалистов Главной оперативной группы управления. Этой идее препятствовала архивация машиной OLMS обрабатываемых ею телеметрических данных. При асинхронной работе двух OLMS или более их архивы будут различны. Синхронность работы двух машин OLMS (см. рис. 2) предусматривалась организационными мерами (одновременным включением и выключением машин).

Другой способ был предложен совместно европейскими и российскими IT-специалистами. Функции OLMS по обработке, архивированию и отображению телеметрической информации были разделены. На резервированном сервере должны непрерывно работать две дублирующие друг друга виртуальные машины OLMS, выполняющие обработку и архивацию. На рабочих местах специалистов Главной оперативной группы информации устанавливают OLMS, выполняющие только функции отображения телеметрической информации. В действительности виртуальные машины OLMS на сервере и на местах одинаковые, только часть функций у них замаскирована. Такой подход позволил европейской стороне поставлять в ЦУП-М необходимое количество виртуальных машин с требуемыми функциями без нарушения определенных контрактных обязательств перед разработчиками программ МРТЕ.

Отметим два интересных факта: 1) после отказа Главной оперативной группы управления от использования «физического» комплекта МРТЕ-В2 европейцы попросили передать комплект EMSR (European Mission Support Room — европейский зал поддержки операций) в ЦУП-М без обязательного подключения к сети телеметрического ИВК, т. е. просто на хранение; 2) новую интерпретацию OLMS европейцы переименовали, и теперь вместо аббревиатуры OLMS она получила имя собственное — Yamcs.

Текущий проект реализации наземных телеметрических средств РТС российского сегмента МКС. К настоящему времени, как изложено выше, в ЦУП-М реализуются две параллельные системы обработки и отображения телеметрической информации манипулятора ERA: на основе штатных средств ЦУП-М и на базе программных средств европейской поставки (рис. 4). Для отображения обработанной телеметрической информации в ЦУП-М используются индивидуальные средства отображения, фактически типовые ПК с установленными специальными программами, и подключенные к сети телеметрические ИВК.

При рассмотрении схемы (см. рис. 4) может сложиться впечатление, что она излишне резервирована, ее элементы дублируют функции друг друга. Для частичного опровержения этого необходимо представить достоинства и недостатки средств российской и зарубежной разработки, входящих в данную схему.

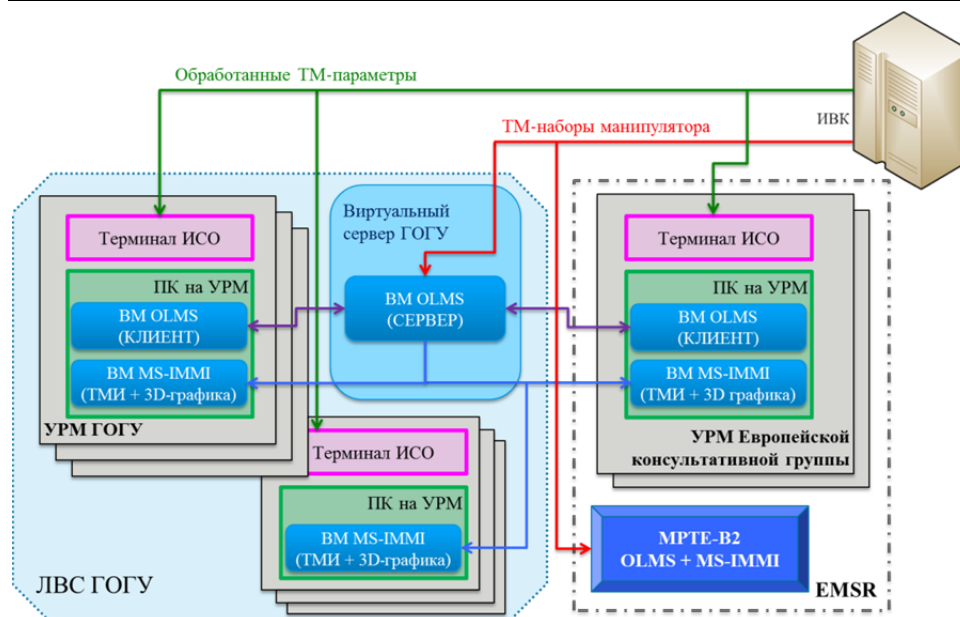


Рис. 4. Планируемая схема реализации телеметрических средств манипулятора ERA в ЦУП-М:

ГОГУ — Главная оперативная группа управления; ИСО — индивидуальные средства отображения; ТМ — телеметрический; ТМИ — телеметрическая информация; УРМ — универсальное рабочее место

Телеметрическая информация на экранах OLMS отображается в виде окон, имеющих иерархическую структуру. Два основных окна отображают общее состояние манипулятора. Кликая по соответствующим «кнопкам» в основных окнах, можно перейти к окнам, отображающим телеметрическую информацию подсистем манипулятора, из них — далее, вплоть до окон, содержащих телеметрическую информацию по отдельным датчикам. Возможны и обратные переходы: от частного к общему. Несомненно, такая сервисная функция удобна, особенно с учетом другой функции, заложенной в OLMS, где реализован так называемый допусковый контроль или метод двухуровневого контроля, подробно описанный в работе [1]. При сбоях и отказах в манипуляторе отдельные элементы главных окон окрашиваются в желтый (предупреждение) или красный (опасность) цвет. В окнах низшего уровня также появляются цветовые предупреждения. Двигаясь «вниз» по иерархическому дереву, можно быстро открыть окно, детально отображающее сбойный узел, элемент или конкретный телеметрический датчик. На терминалах индивидуальных средств отображения метод двухуровневого контроля предусмотрен, но иерархия окон отсутствует. Следующей особенностью OLMS является обилие графического представления телеметрической информа-

ции. Значения температуры представлены в виде шкал градусников, углы в шарнирах — в виде круговых шкал и т. п. При этом шкалы также имеют желтые и красные зоны допускового контроля. Подобная графика, хотя и в меньшем объеме, есть на экранах индивидуальных средств отображения. Перечисленные сервисные функции не дают особых преимуществ одной системы обработки и отображения телеметрической информации перед другой, поэтому можно считать, что часть этих функций излишне дублируется.

Существенным недостатком (по мнению автора) являются временные метки на экранах OLMS. Отображаемая информация обновляется с определенной частотой независимо от того, произошло изменение каких-либо телеметрических параметров или нет. На экран выводится одно общее время, а на экранах индивидуальных средств отображения параметры выводятся каждый с собственной временной меткой, к тому же на экране указывается текущее время. Изменения временных меток возле параметров происходят только при изменении значения телеметрического параметра. До следующего изменения параметра временная метка остается неизменной. Такая сервисная функция, несомненно, удобна для контроля процессов, протекающих по заранее определенной циклограмме (например, захват манипулятором базовой точки или адаптера). Она позволяет оперативно контролировать временные промежутки между отдельными этапами циклограммы, определяемыми последовательными срабатываниями телеметрических параметров.

Для получения значений временных промежутков в OLMS требуется обращаться в архив, прерывая оперативный контроль. Кроме того, существенный недостаток OLMS состоит в том, что эта система способна обрабатывать и отображать только телеметрическую информацию манипулятора. Информация, поступающая от элементов РТС российской разработки, в телеметрических блоках ERA не появляется и, соответственно, в OLMS не обрабатывается и не отображается. Напротив, экраны индивидуальных средств отображения показывают всю телеметрическую информацию, предназначенную для обработки в ЦУП-М, в том числе телеметрическую информацию манипулятора, которая обрабатывается в соответствии с документом ERA Data Dictionary и выводится, как отмечено выше, на двух языках.

Англоязычный интерфейс OLMS можно считать еще одним недостатком этой системы, который не является существенным, тем не менее требует от пользователя OLMS определенного уровня подготовки. Другим малозначимым недостатком можно считать зарубежную разработку и поставку OLMS. Выше указано, что любые изменения и дополнения МРТЕ-В2 были сопряжены с контрактными ограничениями и обязательствами европейской стороны. Кроме того,

невзирая на длительную и продуктивную совместную российско-европейскую работу по проекту ERA, содержание программ МРТЕ-В2 и ВМ на базе МРТЕ-В2 осталось недоступным для российских специалистов. В связи с этим собственные алгоритмы и программы имеют явное преимущество относительно их улучшения, дополнения и пр.

Со штатными индивидуальными средствами обработки также необходимо сравнить машину MS-IMMI, которая редко упоминалась. Эта ЭВМ представляет собой аналог пульта управления манипулятором. Различие с бортовым пультом состоит в том, что нет возможности выдавать с MS-IMMI команды на управление манипулятором и сопряженными элементами. В остальном их функции идентичны (рис. 5).

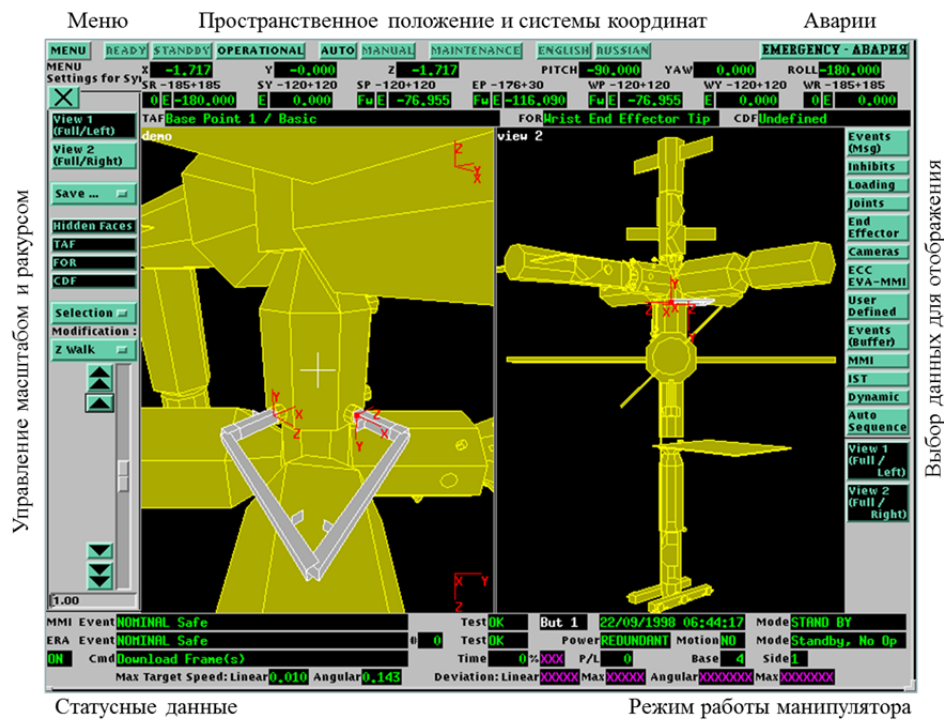


Рис. 5. Отображение информации на экране MS-IMMI

В память MS-IMMI закладывается усеченная 3D-модель МКС. Машина выполняет ряд геометрических вычислений и преобразований, используя в качестве исходных данных обработанные телеметрические параметры, поступающие из OLMS. На экран выводится псевдотрехмерная картинка, позволяющая оценить пространственную позу манипулятора и его расположение относительно внешних элементов МКС. На полях экрана помещены инструменты управления 3D-изображением и выведены наиболее критичные и статусные

телеметрические параметры, остальные — могут быть отображены по выбору пользователя.

Аналогичный набор функций доступен космонавту на пульте управления манипулятором на борту МКС. Отсюда очевидны два бесспорных достоинства MS-IMMI: 1) отображение 3D-картинки; 2) имитация бортового пульта управления.

3D-изображение имеет преимущества перед телевизионной информацией по своей трехмерности и не зависит от освещенности на орбите. К недостаткам можно отнести некоторое искажение реальной картины, вызванное погрешностями в телеметрических датчиках углов в шарнирах и вынужденными закруглениями в обработке телеметрической информации и в геометрических вычислениях. Имитация бортового пульта позволяет эффективнее осуществлять руководство действиями космонавта, управляющего манипулятором. Оба описанных достоинства MS-IMMI у штатных средств ЦУП-М в настоящее время отсутствуют.

Из описания функций OLMS и MS-IMMI и сравнения их с возможностями штатных средств ЦУП-М следует, что по большинству позиций европейская и российская системы не конкурируют, а дополняют одна другую. Поэтому можно сделать вывод о том, что в текущем проекте телеметрические средства обеспечения функционирования манипулятора ERA, с одной стороны, не имеют лишней функциональной избыточности, с другой — предоставляют специалистам Главной оперативной группы управления и европейским консультантам всю необходимую информацию для объективной оценки функционирования российских РТС и для корректной поддержки действий экипажа.

Заключение. Поскольку проект ERA реализуется в рамках МКС, то для качественной оценки разрабатываемых программно-аппаратных средств телеметрического обеспечения российских РТС вполне допустимо обратиться к опыту зарубежных партнеров. Европейские партнеры не имеют опыта эксплуатации манипуляторов в составе пилотируемых комплексов, а американские коллеги его накапливали без малого четверть века. Автору удалось поверхностно ознакомиться с наземными средствами поддержки РТС в Центре управления полетами (г. Хьюстон, Техас, США). Из полученной информации необходимо выделить важные аспекты: использование значительно более качественной по сравнению с MS-IMMI 3D-визуализации; минимальную дискретизацию гладких поверхностей; высокую детализацию мелких внешних элементов; передачу теней и полутонов; имитацию текстуры поверхностей и т. п. Собственную систему 3D-визуализации аналогичного качества можно разработать, привлекая специалистов Главной оперативной группы управления,

на основе 3D-модели МКС с использованием расчетных алгоритмов, описанных, например, в работе [3]. Актуальную модель МКС в формате Autodesk 3ds Max регулярно поставляют в ЦУП-М проектные подразделения РКК «Энергия». Наряду с указанным еще одним наиболее полезным аспектом является использование сравнительного анализа текущих данных об углах в шарнирах манипулятора с некоторыми заранее вычисленными модельными данными (рис. 6).

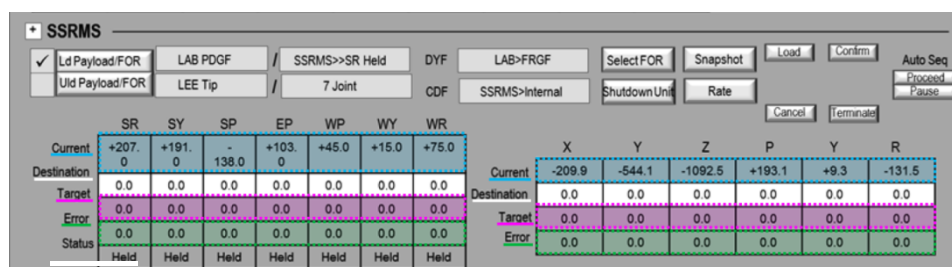


Рис. 6. Окно анализа телеметрических данных об углах в шарнирах и координатах концевой захвата манипулятора SSRMS

Голубым цветом в таблицах выделены текущие значения углов в шарнирах (слева) и координат концевой захвата (справа), получаемые в режиме реального времени по телеметрическим данным. Белым и розовым цветом выделены (соответственно) промежуточные и конечные расчетные величины углов и координат, рассчитанные заранее при разработке траекторий перемещения манипулятора на моделирующем оборудовании. В зеленой строке отображается текущее рассогласование между реальными данными и расчетными (между строками Current и Destination). За внешней простотой реализации скрывается необходимое и полезное средство контроля критических параметров манипуляторов.

Сложные пространственные перемещения манипуляторов вблизи поверхности МКС и внешних элементов конструкции на этапе подготовки миссии тщательно отрабатываются на моделирующем оборудовании. Рассчитываются возможные траектории, позволяющие избежать опасных сближений самого манипулятора и переносимого груза с элементами конструкции МКС. Во время реализации миссии на борту в силу особенностей человеческого визуального восприятия сложно, а порой и невозможно, оценить по телевизионной информации или 3D-изображениям, корректно ли выполняется запланированная траектория перемещения. Если на этапе моделирования выделить на траектории перемещения ряд реперных точек, зафиксировать значения углов в шарнирах и координаты концевой захвата при прохождении каждой точки, то полученный набор данных можно использовать в качестве эталона при реальном перемещении.

Разница модельных и реальных величин позволяет объективно оценить соответствие реальной траектории перемещения запланированной. По сути, подобный подход представляет собой модифицированный (упрощенный) вариант алгоритма, описанного в работе [1], как алгоритма автоматизированного контроля, построенного на основе математической модели КА, при котором модель объекта «запускается» параллельно с реальным объектом, а средства контроля сравнивают два потока телеметрических данных, получаемых в реальном масштабе времени от модели и объекта. В таком модифицированном варианте ведется сравнение текущей телеметрической информации с фиксированными значениями, заранее полученными на модели.

Поскольку описанный алгоритм дает объективную оценку величины отклонения от заданной траектории, а разрабатываемые программно-аппаратные средства телеметрического обеспечения российских РТС подобной оценки не дают, то специалистам Главной оперативной группы управления надлежит выполнить соответствующую доработку этих телеметрических средств. В отличие от качественной 3D-визуализации, необходима именно такая доработка, поскольку это отвечает требованиям обеспечения безопасности управления полетом. При практической реализации указанной доработки видится сложность только в выборе способа синхронизации фиксированной модельной и реальной телеметрической информации. Координатный вариант выбора реперных точек на траектории не подходит, так как нарушается принцип технических измерений: эталон не может быть одновременно и эталоном и измеряемой величиной. Как альтернативу можно рассматривать либо временную, либо, как предложено в работе [1], тактовую привязку. Данный вопрос подлежит дальнейшему исследованию.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. *Управление космическими полетами*. Ч. 2. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 428 с.
- [2] Гультяев А. К. *Виртуальные машины: несколько компьютеров в одном*. Санкт-Петербург, Питер, 2006, 48 с.
- [3] Котюженко Н.В., Савин Л.А. Графическая трехмерная интерпретация телеметрии манипуляторов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 2. DOI 10.18698/2308-6033-2016-02-1465

Статья поступила в редакцию 30.03.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:
Савин Л.А. Телеметрические средства обеспечения функционирования манипулятора ERA. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 6.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-6-1631>

*Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XLI Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства.
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24–27 января 2017 г.*

Савин Леонид Анатольевич — начальник сектора ПАО «РКК «Энергия», сотрудник Главной оперативной группы управления. Автор трех публикаций в области управления космическими полетами. Область научных интересов: эксплуатация робототехнических систем в составе пилотируемых космических комплексов.
e-mail: leonid.savin@sfoс.ru

Telemetry means for ensuring the operation of the ERA manipulator

© L.A. Savin

S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia,
Korolev town, Moscow region, 141070, Russia

The article presents the evolution of soft- and hardware of telemetry equipment for supporting functioning of ERA manipulator. The current project of implementation of the ground telemetry tools of ISS Russian Segment robotic systems is described. The comparative assessment of the Russian and foreign elements included in the tools is performed. The author's vision of the required directions of ground-based telemetry tool development for the Russian robotic systems is presented taking into account the prospect of using domestic robotic systems in manned complexes.

Keywords: International space station (ISS), Mission Control Center (MCC), ERA manipulator, telemetry, MPTE

REFERENCES

- [1] Solovyev V.A., Lysenko L.N., Lubinskiy V.E. *Upravlenie kosmicheskimi poletami*. Chast 2 [Space flight control. Part 2]. Moscow, BMSTU Publ., 2010, 426 p.
- [2] Gulyaev A.K. *Virtualnye mashiny: neskolko kompyuterov v odnom* [Virtual machines: Multiple computers in one]. St. Petersburg, Piter Publ., 2006, 48 p.
- [3] Kotuzhenko N.V., Savin L.A. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* — *Engineering Journal: Science and Innovation*, 2016, iss. 2.
DOI 10.18698/2308-6033-2016-02-1465

Savin L.A. (b. 1970) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 1994. Head of Sector, S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia, member of the Main Control Group (Russian Segment of ISS). Author of 3 research publications in the field of space flight control. Research interests: robotic system operation in manned space systems. e-mail: leonid.savin@sroc.ru