

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ,
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ.
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

УДК 629.7.05 EDN YYVGXD

**Шестикоординатный манипулятор
в испытаниях бортовой аппаратуры
на Российской орбитальной станции**

Г. А. Ерохин, к. т. н., contact@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

А. А. Жуков, д. т. н., профессор, zhikov.aa@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

ФГБОУ «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Российская Федерация

В. А. Соловьев, д. т. н., профессор, академик РАН, post@rsce.ru

ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Московская область, Российская Федерация

Р. М. Самитов, post@rsce.ru

ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Московская область, Российская Федерация

А. Е. Тюлин, д. э. н., к. т. н., tyulin_ae@apr.fgov.ru

НТС Военно-промышленной комиссии РФ, Москва, Российская Федерация

О. Е. Хромов, к. т. н., chromov_oe@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

И. В. Чурило, к. т. н., post@rsce.ru

ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Московская область, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена вопросам адаптации средств робототехники Российской орбитальной станции к задачам дополнительных испытаний бортовой аппаратуры космических аппаратов в открытом космическом пространстве. Проанализированы существующие технологии роботов, применяемых на орбитальной станции. Для перемещения унифицированных модулей с испытуемой бортовой аппаратурой в процессе проведения ее дополнительных натурных испытаний на Российской орбитальной станции предложено использовать тандем из робота-манипулятора орбитальной станции и шестикоординатного манипулятора, реализованного по технологии машин с числовым программным управлением. Тандем обеспечит требуемую точность позиционирования при подключении модулей с испытуемой бортовой аппаратурой. Данный подход позволит сократить участие космонавтов во внекорабельной деятельности при проведении испытаний вплоть до полного его исключения, что является важным шагом в автоматизации производственных процессов, осуществляемых в космосе. Предложенный способ может служить основанием для разработки конструкции, технологии и ее апробации на Российской орбитальной станции.

Ключевые слова: робот-манипулятор орбитальной станции, шестикоординатный манипулятор, бортовая аппаратура, Российская орбитальная станция (РОС), натурные испытания

Для цитирования: Ерохин Г. А., Жуков А. А., Соловьев В. А., Самитов Р. М., Тюлин А. Е., Хромов О. Е., Чурило И. В. Шестикоординатный манипулятор в испытаниях бортовой аппаратуры на Российской орбитальной станции. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*. 2025. Т. 12. № 2. С. 7–15.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ,
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ.
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

A Six-Axis Manipulator in Onboard Equipment Testing on the Russian Orbital Station

G. A. Erokhin, *Cand. Sci. (Engineering)*, contact@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

A. A. Zhukov, *Dr. Sci. (Engineering)*, Professor, zhukov.aa@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation

V. A. Solovyev, *Dr. Sci. (Engineering)*, Professor, member of RAS, post@rsce.ru

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

R. M. Samitov, post@rsce.ru

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

A. E. Tyulin, *Dr. Sci. (Econ.)*, *Cand. Sci. (Engineering)*, tyulin_ae@apr.f.gov.ru

*Scientific and Technical Council of the Military-Industrial Commission of the Russian Federation,
Moscow, Russian Federation*

O. E. Khromov, *Cand. Sci. (Engineering)*, chromov_oe@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

I. V. Churilo, *Cand. Sci. (Engineering)*, post@rsce.ru

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

Abstract. The article is dedicated to the issues of adapting the robotic facilities of the Russian Orbital Station to the tasks of additional testing of spacecraft onboard equipment in outer space. The existing technologies of robots implemented on the orbital station are analyzed. In order to move the unified modules with the onboard equipment being tested within the framework of the additional in-situ tests on the Russian Orbital Station, it is proposed that a tandem of the robotic arm of the orbital station and a six-axis manipulator be utilized. The latter is designed in accordance with the technology of numerically controlled machines. Such a tandem will ensure the required positioning accuracy during the connection of the modules carrying the equipment being tested. This approach will minimize the participation of cosmonauts in extravehicular activities during tests, eventually leading to its complete exclusion. This is an important step towards the automation of production processes carried out in space. The proposed method has the potential to serve as a basis for the development of the design, technology, and its subsequent testing on the Russian Orbital Station.

Keywords: space station robotic arm, six-axis manipulator, onboard equipment, Russian Orbital Station (ROS), in-situ testing

For citation: Erokhin G. A., Zhukov A. A., Solovyev V. A., Samitov R. M., Tyulin A. E., Khromov O. E., Churilo I. V. A Six-Axis Manipulator in Onboard Equipment Testing on the Russian Orbital Station. *Rocket-Space Device Engineering and Information Systems*. 2025. Vol. 12. No. 2. P. 7–15. (in Russian)

Введение

Выработка ресурса бортовых систем российской сегмента Международной космической станции (МКС) инициировала работы по созданию новой Российской орбитальной станции (РОС). Для обеспечения непрерывности пилотируемой космонавтики планируется начало развертывания РОС до завершения работ на МКС [1]. Исходя из преемственности станций на РОС, как и на МКС, сохраняется тенденция использования бортовых робототехнических средств для облегчения труда человека на орбите [2].

Статья посвящена вопросам адаптации средств робототехники РОС к задачам дополнительных испытаний бортовой аппаратуры космических аппаратов в открытом космическом пространстве и является продолжением исследований, изложенных в [3–5]. Основные технические решения этих работ защищены патентами [6–8].

Значительное внимание роботизации и автоматизации производственных процессов в космосе уделяется как на российском, так и на американском сегментах МКС. В качестве примеров можно привести манипуляторы Canadarm, Dextre и European Robotic Arm (ERA). На МКС РКК «Энергия» и NASA эксплуатируют 3D-принтеры, имеется опыт применения роботов-андроидов (Fedor, Robonaut).

Развитию технологий, использующих космическую среду орбитальной лаборатории, в том числе обслуживание, сборку и производство в космосе, посвящен объявленный конкурс «Развитие технологий и прикладные исследования с использованием возможностей Национальной лаборатории МКС», предусматривающий финансирование в США в размере до 650 000 долларов для развития технологий на низкой околоземной орбите [9].

NASA продолжает работы по роботизации на орбите МКС. Сообщается о проверке на борту орбитальной станции работоспособности робота Astrobee в лабораторном модуле «Кибо», оснащенном манипуляторами для демонстрации методов захвата спутников [10].

Принципиально другое техническое решение заложено в мобильный микроробот-инспектор, который предназначен для инспекции солнечных батарей орбитальной станции. Особенностью микроробота-инспектора является наличие приспособле-

ний для управляемой адгезии, обеспечивающих перемещение по поверхности [11, 12].

Исходя из опыта эксплуатации российского сегмента (РС) МКС на РОС будет значительно увеличено количество рабочих мест на поверхности станции для подключения различной научной и прикладной аппаратуры и проведения с ней экспериментов и целевых работ [2].

Одним из направлений решаемых РОС задач является отработка перспективных и совершенствование существующих технологий в космосе [2]. Применительно к приборостроению технология проведения дополнительных натурных испытаний бортовой аппаратуры (БА) космических аппаратов (КА) (включая приборы, их компоненты и материалы) на РОС, безусловно, относится к этому направлению.

Данная технология предусматривает после этапа наземной экспериментальной отработки (НЭО) БА перед этапом летных испытаний (ЛИ) КА проведение дополнительных испытаний (ДИ) БА на РОС. Основная идея рассматриваемой технологии заключается в том, что вновь разработанная БА первый раз оказывается в условиях синергетического воздействия дестабилизирующих факторов космического пространства (ДФКП) и флуктуации функциональных воздействий (гравитационных и/или магнитных полей Земли, Солнца, Луны, полей мировых техногенных систем наземной и космической связи и навигации, излучения звезд, планет, спутников во всех диапазонах) в процессе ДИ, до начала ЛИ КА в целом [4]. Ожидаемым результатом ДИ БА на РОС является фиксация критических совокупных функциональных воздействий и дестабилизирующих факторов космического пространства на БА, при которых есть замечания к ее функционированию, выработка рекомендаций по корректировке решений, заложенных при создании БА, и ее доработке до начала летных испытаний либо подтверждение правильности заложенных решений.

Основной целью ДИ БА на РОС является повышение вероятности получения положительного результата летных испытаний КА № 1 и его дальнейшей штатной эксплуатации.

Предложенная в работе [4] последовательность этапов дополнительных натурных испытаний бортовой аппаратуры приведена в табл. 1.

Таблица 1. Последовательность этапов дополнительных испытаний

№	Наименование этапа
1.	Создание унифицированных модулей с испытуемой бортовой аппаратурой
2.	Наземные испытания унифицированных модулей
3.	Доставка унифицированных модулей на орбитальную станцию
4.	Перемещение космонавтом или роботом-манипулятором унифицированных модулей из зоны складирования орбитальной станции и установка в крейт
5.	Подключение к цепям питания и информационным интерфейсам крейта
6.	Испытания унифицированных модулей
7.	Отключение унифицированных модулей от цепей питания, информационных интерфейсов и их перемещение космонавтом или роботом-манипулятором из крейта в зону складирования орбитальной станции
8.	Доставка унифицированных модулей на Землю в случае необходимости
9.	Анализ результатов испытаний

Обратим внимание на этапы 3 и 7. На этих этапах предусматривается перемещение унифицированных модулей испытуемой бортовой аппаратуры (УМБА) из зоны складирования орбитальной станции и установка в крейт, а также обратное перемещение из крейта в зону складирования. Каждая из этих операций может быть реализована либо роботом-манипулятором орбитальной станции, например аналогичным ERA — вариант 1, либо космонавтом в процессе внекорабельной деятельности — вариант 2. С точки зрения технологичности проведения дополнительных испытаний бортовой аппаратуры на РОС вариант 1 является более предпочтительным, поскольку он допускает проведение работ без привлечения космонавта в автоматическом режиме. Данное обстоятельство особенно важно, поскольку РОС предполагается создавать посещаемой, без постоянного присутствия космонавтов, в отличие от обитаемой МКС.

На рис. 1 представлена схема перемещения УМБА на рабочую позицию крейта для этих двух вариантов.

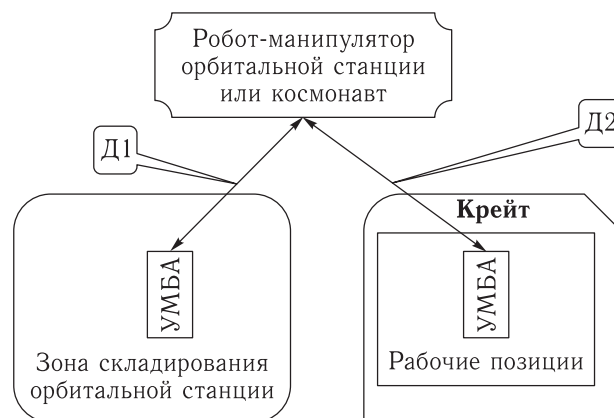


Рис. 1. Схема прямого перемещения УМБА на рабочую позицию крейта

Fig. 1. Scheme of the direct motion of the unified module toward the operative position of the crate

Космонавт или робот-манипулятор РОС по этой схеме осуществляют два движения — Д1 и Д2. Д1 начинается с захвата УМБА в зоне складирования РОС/шлюзовой камере. В качестве прогноза технических характеристик робота-манипулятора РОС можно взять характеристики эксплуатируемого на РС МКС робота-манипулятора ERA, который способен перемещать грузы массой до 8000 кг с точностью позиционирования до 5 мм. В то же время движение Д2 должно завершаться установкой УМБА в крейт, включающей сочленение электрических разъемов, которое требует точности позиционирования порядка 0,1 мм. Следует отметить, что в случае перемещения УМБА космонавтом при внекорабельной деятельности (ВКД) противоречие сохраняется. В работах [5] и [8] для разрешения данного противоречия предложено использовать систему плавающей стыковки УМБА и крейта, включающую направляющие модуля, направляющие крейта, ловители крейта и некоторые другие конструктивные элементы. Указанные конструктивные элементы должны быть установлены в каждом УМБА и на всех рабочих позициях (посадочных местах) крейта.

Разработка альтернативного способа разрешения противоречия между возможной точностью позиционирования космонавта или робота-манипулятора РОС и требуемой точностью позиционирования для сочленения электрических разъемов является целью данной работы.

Применительно к процессу дополнительных натурных испытаний бортовой аппаратуры на РОС можно выделить две общепринятые технологии построения механизмов автоматизации:

- роботы,
- машины с числовым программным управлением (ЧПУ).

Сравним основные характеристики этих технологий, имеющих определяющее значение в рассматриваемом случае.

Рабочая область — рабочая область машины с ЧПУ зачастую представляет собой объем с основанием, равным поверхности стола, и высотой около одного метра. Роботы, напротив, обычно имеют большое сферическое рабочее пространство, зачастую с перемещаемым центром.

Жесткость — машины с ЧПУ отличаются более высокой жесткостью во всех осях.

Точность — жесткость машин с ЧПУ позволяет им достичь более высокую точность по сравнению с роботами.

В качестве примера робота можно привести эксплуатируемый на РС МКС робот-манипулятор ERA. Европейский манипулятор ERA — дистанционно управляемый космический робот-манипулятор, созданный ЕКА для сборочных работ и обслуживания российского сегмента Международной космической станции [13].

Оборудование, построенное по технологии «машины с ЧПУ», широко применяется в приборостроении. Приведем лишь несколько примеров:

- обрабатывающие центры,
- 3D-принтеры, в том числе эксплуатируемые NASA и РКК «Энергия» на МКС,
- система внутрисхемного и функционального электрического контроля печатных плат с летающими тестовыми пробами SPEA 4060 MULTIMODE,
- системы автоматизированной установки компонентов на печатные платы.

Приведенные примеры машин с ЧПУ имеют рабочую область, жесткость и точность, соответствующую требованиям по сборке крейта. Кроме того, следует отметить положительный опыт эксплуатации 3D-принтеров на МКС.

В большинстве случаев кинематика машин с ЧПУ построена по картезианской схеме с несколькими степенями свободы вращения.

Из изложенного выше можно сделать вывод, что для работ по установке (извлечению) УМБА в крейт больше подходит машина с ЧПУ, нежели робот.

Исходя из этого, рассмотрим в качестве механизма перемещения УМБА из зоны складирования РОС в крейт — тандема, состоящего из робота-манипулятора РОС и встроенного в крейт шестикоординатного манипулятора. По терминологии выше шестикоординатный манипулятор является машиной с ЧПУ. В этом случае перемещение УМБА осуществляется в два этапа.

Этап 1. Перемещение космонавтом или роботом-манипулятором РОС УМБА из зоны складирования орбитальной станции и установка в крейт на промежуточную позицию. Обратное перемещение.

Этап 2. Перемещение шестикоординатным манипулятором УМБА на рабочую позицию крейта. Обратное перемещение.

Промежуточная позиция должна быть построена так, чтобы требуемая точность позиционирования соответствовала возможностям робота-манипулятора РОС и космонавта при проведении ВКД.

Тогда требуемую точность позиционирования для сочленения электрических разъемов, характерную для приборостроительного производства, должен будет обеспечивать встроенный в крейт шестикоординатный манипулятор, который имеет существенно меньшую по сравнению с роботом-манипулятором РОС рабочую область (не более габаритов крейта) и может иметь жесткую конструкцию, например аналогичную конструкции успешно апробированного на МКС 3D-принтера. В таких условиях требуемая для сочленения электрических разъемов точность позиционирования представляется вполне достижимой.

На рис. 2 приведена схема двухэтапного перемещения УМБА на рабочую позицию крейта через промежуточную позицию.

Последовательность этапов дополнительных испытаний с перемещением УМБА через промежуточную позицию приведена в табл. 2.

Кинематика шестикоординатного манипулятора может быть построена по картезианской схеме.

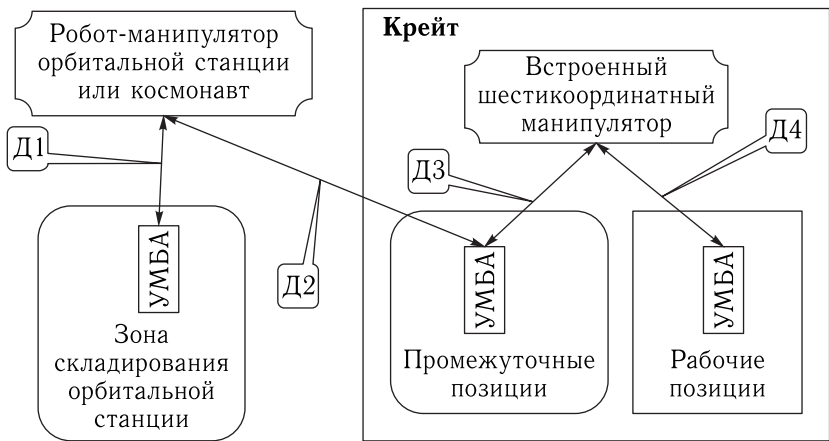


Рис. 2. Схема перемещения УМБА на рабочую позицию крейта через промежуточную позицию
Fig. 2. Scheme of unified module motion toward the operative position of the crate through an intermediate position

Таблица 2. Последовательность этапов дополнительных испытаний с перемещением УМБА через промежуточную позицию

№	Наименование этапа
1.	Создание унифицированных модулей с испытуемой бортовой аппаратурой
2.	Наземные испытания унифицированных модулей
3.	Доставка унифицированных модулей на орбитальную станцию
4.	Перемещение космонавтом или роботом-манипулятором РОС унифицированных модулей из зоны складирования орбитальной станции и установка в крейт на промежуточную позицию
5.	Перемещение шестикоординатным манипулятором унифицированных модулей на рабочую позицию крейта
6.	Подключение унифицированных модулей к цепям питания и информационным интерфейсам крейта
7.	Испытания унифицированных модулей
8.	Отключение унифицированных модулей от цепей питания, информационных интерфейсов и их перемещение шестикоординатным манипулятором на промежуточную позицию крейта
9.	Перемещение космонавтом или роботом-манипулятором РОС унифицированных модулей из крейта в зону складирования орбитальной станции
10.	Доставка унифицированных модулей на Землю в случае необходимости
11.	Анализ результатов испытаний

Для захвата, удерживания, перемещения и ориентирования УМБА в состав манипулятора входит хват. На рис. 3 изображены линейные (X , Y , Z) и угловые (Ψ , Θ , Ω) степени свободы движений схвата манипулятора. Ось OX определяет направление движения схвата манипулятора между рабочими позициями крейта. Ось OZ совпадает с направлением установки УМБА в крейт и его последующего извлечения из крейта.

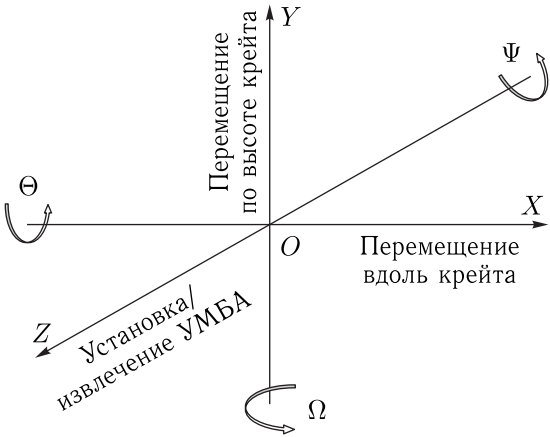


Рис. 3. Координатные и угловые степени свободы движений шестикоординатного манипулятора
Fig. 3. Axial (X , Y , Z) and angular (Ψ , Θ , Ω) degrees of freedom of the six-axis manipulator

Если рассматривать задачу шестикоординатного манипулятора по перемещению УМБА вдоль крейта до требуемой рабочей позиции и его установку в крейт (извлечение из крейта), то манипу-

лятору требуются две линейные степени свободы — OX и OZ . Однако, поскольку установку УМБА на промежуточную позицию крейта производит робот-манипулятор РОС, шестикоординатный манипулятор при захвате УМБА должен осуществить его прецизионное позиционирование. Для решения этой задачи необходимо обеспечить возможность линейного движения схвата манипулятора по высоте крейта — ось OY , а также вращательные движения схвата (угловые координаты Ψ , Θ , Ω).

Таким образом, шестикоординатный манипулятор должен выполнять следующие элементарные команды:

- перемещение схвата по оси OX ,
- перемещение схвата по оси OY ,
- перемещение схвата по оси OZ ,
- вращение схвата вокруг оси OX на угол Θ ,
- вращение схвата вокруг оси OY на угол Ω ,
- вращение схвата вокруг оси OZ на угол Ψ ,
- захват УМБА схватом,
- освобождение УМБА из схвата,
- технологические команды.

Ранее была представлена схема тестовой аппаратуры для проведения дополнительных натурных испытаний бортовой аппаратуры на РОС. По признаку расположения она делится на внутренний блок тестовой аппаратуры, расположенный внутри герметичного отсека РОС, и внешний блок тестовой аппаратуры (крейта), расположенный вне герметичного отсека РОС. В отдельных случаях крейт может быть удален на некоторое расстояние (единицы метров) от РОС для исключения влияния станции на результаты испытаний. В состав внутреннего блока входит вычислительное устройство тестовой аппаратуры (ВУТА).

В [8] отмечено, что «по сравнению с российским сегментом МКС на РОС будет кратно увеличено количество рабочих мест для подключения целевой аппаратуры. Мы получим значительно больше специальных точек на поверхности станции для размещения различной научной и прикладной аппаратуры для проведения экспериментов и целевых работ».

Кроме того, для проведения экспериментов и целевых работ создается инфраструктура управ-

ления полезной нагрузкой РОС, включающая как бортовые, так и наземные средства.

Отметим некоторые предоставляемые РОС возможности и оборудование, которые непременно будут задействованы при организации дополнительных натурных испытаний бортовой аппаратуры:

- транспортное обеспечение Земля–РОС–Земля,
- складское обеспечение РОС,
- ВКД космонавтов,
- робот-манипулятор РОС,
- наземные средства управления полезной нагрузкой,
- канал управления полезной нагрузкой,
- бортовая вычислительная машина полезной нагрузки (БВМ ПН),
- пульт космонавта,
- навигационное обеспечение РОС,
- информационное обеспечение РОС, в том числе информация о космической погоде,
- электроснабжение.

Схема информационного взаимодействия компонентов системы дополнительных натурных испытаний бортовой аппаратуры приведена на рис. 4.

Функционирование шестикоординатного манипулятора осуществляется по управляющей программе (ПМО-6D), представляющей собой последовательность элементарных команд. ПМО-6D хранится в ВУТА и может быть загружена двумя способами:

- загрузка ПМО-6D с наземных средств управления полезной нагрузкой через канал управления полезной нагрузкой в БВМ ПН и далее в ВУТА,
- загрузка ПМО-6D с пульта космонавта БВМ ПН и далее в ВУТА.

Команды ПМО-6D через схемы интерфейса поступают на 6-координатный манипулятор.

Следует отметить, что программное математическое обеспечение дополнительных испытаний (ПМО-ДИ) также хранится в ВУТА и загружается в него одним из тех же двух указанных выше способов. По программе ПМО-ДИ, индивидуальной для каждого УМБА, через служебные модули крейта подаются управляющие последовательности испытательных воздействий и фиксируется реакция испытываемой аппаратуры.



Рис. 4. Схема информационного взаимодействия
Scheme of information interaction

Выводы

Рассмотрены варианты робототехнических средств перемещения унифицированных модулей с испытуемой бортовой аппаратурой между зоной складирования РОС и внешним блоком тестовой аппаратуры (крейтом). Предложено осуществлять перемещение в два этапа, с промежуточной позицией. Показана целесообразность использования для этой цели тандема робота-манипулятора орбитальной станции и встроенного в крейт шестикоординатного манипулятора, построенного по технологии машин с ЧПУ и ориентированного на выполнение высокоточных операций, характерных для приборостроения.

Предложен и проанализирован способ проведения дополнительных натурных испытаний бортовой аппаратуры с двухэтапным перемещением унифицированных модулей с испытуемой бортовой аппара-

турой тандемом из робота-манипулятора орбитальной станции и встроенного шестикоординатного манипулятора крейта. Предложенный способ позволит при проведении испытаний сократить участие космонавтов во внекорабельной деятельности вплоть до полного его исключения. Данная особенность принципиальна для РОС, которая, в отличие от обитаемой МКС, создается как посещаемая.

Список литературы

1. «Роскосмос» и NASA договорились синхронизировать сроки завершения работ на МКС [Электронный ресурс] / Интерфакс // <https://www.interfax.ru/world/1020575> (Дата обращения 14.04.2025).
2. Москвич Е. Интервью Владимира Кожевникова. Главный конструктор РОС: Новая орбитальная станция будет практически «вечной» [Электронный ресурс] / ТАСС. Ракетно-космическая корпорация

- «Энергия» // <https://tass.ru/interviews/17021569/> (Дата обращения 02.04.2025).
3. Ерохин Г.А., Жуков А.А., Самитов Р.М., Соловьев В.А., Тюлин А.Е., Хромов О.Е., Чурило И.В. Испытания бортовой аппаратуры космического назначения. Часть 1. Синергизм воздействия факторов космического пространства // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2023, т. 10, вып. 1. С. 3–9.
4. Ерохин Г.А., Жуков А.А., Самитов Р.М., Соловьев В.А., Тюлин А.Е., Хромов О.Е., Чурило И.В. Испытания бортовой аппаратуры космического назначения. Часть 2. Дополнительные натурные испытания на орбитальной станции // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2023, т. 10, вып. 2. С. 5–13.
5. Агеев М.М., Ерохин Г.А., Жуков А.А., Тюлин А.Е., Хромов О.Е., Юданов Н.А. Технология дополнительных испытаний бортовой аппаратуры на орбитальной станции // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2024, т. 11, вып. 2. С. 3–10.
6. Ерохин Г.А., Жуков А.А., Самитов Р.М., Соловьев В.А., Тюлин А.Е., Хромов О.Е., Чурило И.В. Способ проведения натурных испытаний аппаратуры в космосе и система для его осуществления. Приоритет 06.12.2022. Решение о выдаче патента 05.07.2023. Оpubл.: 11.09.2023. Бюлл. № 26. Патент РФ № 2803218 С1.
7. Жуков А.А., Тюлин А.Е., Хромов О.Е., Чурило И.В. Стенд для испытаний аппаратуры в космическом пространстве. Дата подачи 17.12.2021. Решение о выдаче патента 29.04.2022. Оpubл.: 21.06.2022. Бюлл. № 18. Патент РФ № 2774491С1.
8. Агеев М.М., Ерохин Г.А., Жуков А.А., Мамедов Т.Т., Тюлин А.Е., Хромов О.Е., Чурило И.В., Юданов Н.А. Стенд для испытаний бортовой аппаратуры в космическом пространстве на орбитальной станции. Заявка на патент № 2023118930. Дата 17.07.2023. Решение о выдаче патента от 04.04.2024. Оpubл.: 31.05.2022. Бюлл. № 16. Патент № 2820237.
9. Up to \$650,000 Funding for Tech Advancement in Low Earth Orbit. [Электронный ресурс] / NASA // <https://www.nasa.gov/international-space-station/space-station-research-and-technology/space-station-technology-demonstration/> (Дата обращения 26.03.2025).
10. Luabeya M. Astronaut Suni Williams and Astrobe. NASA. Dec 03. 2024 [Электронный ресурс] // <https://www.nasa.gov/image-article/astronaut-suni-williams-and-astrobee/> (Дата обращения 26.03.2025).
11. Жуков А.А., Болотник Н.Н., Черноусько Ф.Л. Ползающий космический микроробот-инспектор. Заявка на патент № 2021112740 от 30.04.2021. Приоритет 30.04.2021. Оpubл. 06.05.2022. Бюлл. № 13. Патент РФ № 2771501.
12. Болотник Н.Н., Градецкий В.Г., Жуков А.А., Козлов Д.В., Смирнов И.П., Черноусько Ф.Л., Чачухин В.Г. Мобильный микроробот космического назначения: концепция и перспективы использования // Космические исследования, 2019, т. 57, № 2. С. 132–138.
13. Роскосмос. Новости. Начало новой «эры» [Электронный ресурс] // Роскосмос / <https://www.roscosmos.ru/33594/> (Дата обращения 02.04.2025).

Дата поступления рукописи
в редакцию 13.12.2024
Дата принятия рукописи
в печать 23.04.2025