

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК 004.896:629.78.007

ВОЗМОЖНОСТИ И НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО СТЕНДА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕННОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ

В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, Ю.С. Чеботарев, И.А. Буковская

Докт. техн. наук, проф. В.А. Дикарев; канд. техн. наук, доц. А.Н. Симбаев;
Ю.С. Чеботарев; И.А. Буковская (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются возможности универсального компьютерного стенда робототехнических систем (УКС РТС) Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, обобщен опыт его экспериментальной отработки и целевого использования в процессе проведения исследований и подготовки космонавтов, показаны предпосылки к проведению модернизации. Представлены результаты проведенных изменений в составных частях УКС РТС и дооснащения новыми элементами, обеспечивающими расширение функциональных возможностей стенда в интересах обеспечения подготовки космонавтов к бортовой реализации целевой работы «Теледроид», а также проведения экспериментальных исследований по отработке возможностей применения робототехнических систем для перспективных пилотируемых космических полетов.

Ключевые слова: теледроид, антропоморфный робот, универсальный компьютерный стенд робототехнических систем, испытатель, задающее устройство копирующего типа

Opportunities and Some Directions of Using the Universal Computer-Based Stand of Robotic Systems after the Upgrade.

V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, Yu.S. Chebotarev, I.A. Bukovskaya

The paper considers the capabilities of the universal computer-based stand of robotic systems (UCS RS) at the Gagarin Cosmonaut Training Center, generalizes the experience in its experimental development and targeted use in the research process and cosmonaut training, and shows the background for its upgrade. The results of the changes made in the components of the stand and refitting it with new elements to provide the enhancement of the stand's functionality in the interests of training cosmonauts for implementing the «Teledroid» target work on board, as well as to conduct experimental studies on the development of the capabilities of using robotic systems for promising manned space flights are presented.

Keywords: teledroid, anthropomorphic robot, universal computer stand for robotic systems, tester, master device of a copying type

Основные направления целевого использования УКС РТС

Предстоящая бортовая реализация целевой работы (ЦР) «Теледроид» [1] предполагает апробацию технологий телеуправления копирующим антропоморфным роботом (АР) при выполнении им операций на борту орбитальной станции и его взаимодействия с космонавтами при осуществлении совместной внутри- и внекорабельной деятельности. Для отработки технологии телеуправления роботами при выполнении задач проведения научно-технических экспериментов на орбитальных станциях нового поколения (ОСНП), обслуживания космических аппаратов (КА) на околоземных, высоких и геостационарных орбитах, а также будущего сопровождения биологических и других систем на напланетных (лунных) базах имеются потребности в проведении космических экспериментов (КЭ) на борту РС МКС, в частности с возможным использованием АР. Это позволит наиболее полно учесть влияние всех факторов космического полета на процессы управления роботом и отработать его взаимодействие с космонавтом при осуществлении совместной внутри- и внекорабельной деятельности. Для этого предлагается использовать имеющийся научно-технический задел в виде российского дистанционноуправляемого АР SAR-400 разработки ОАО «НПО «Андроидная техника», модернизированного для работы в условиях космического пространства. Ключевые исследования в этом направлении выполнены при бортовой реализации КЭ «Испытатель» в 2019 г. [2]. При наземной подготовке космонавтов использовался изготовленный в 2018 г. УКС РТС ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» [3]. В ЦР «Теледроид» закладывается проведение космонавтами на борту МКС нескольких сеансов работ с использованием как виртуальной модели, так и физического образца робототехнической системы антропоморфного типа (РТС АТ). При их создании учитываются наработки проведения КЭ «Испытатель» и опыт целевого использования модернизированного в 2020 г. УКС РТС в части выполненных следующих дополнительных экспериментальных исследований (ЭИ):

1. Использование робототехнических систем для поддержания операторской деятельности (ОД) экипажей при реализации перспективных пилотируемых космических программ (в рамках проведения изоляционного эксперимента (ИЭ) «SIRIUS-21») (рис. 1) [4].
2. ЭИ вестибулярной устойчивости (ВУ) космонавта при управлении РТС АТ в виртуальной среде (рис. 2) [5].
3. ЭИ возможности выполнения космонавтами ОД при управлении движением транспортного средства (имитатора планетохода (ИП)) посредством АР, действующего в копирующем режиме телеуправления (в рамках выполнения НИР «Созвездие – ЛМО») (рис. 3) [6].

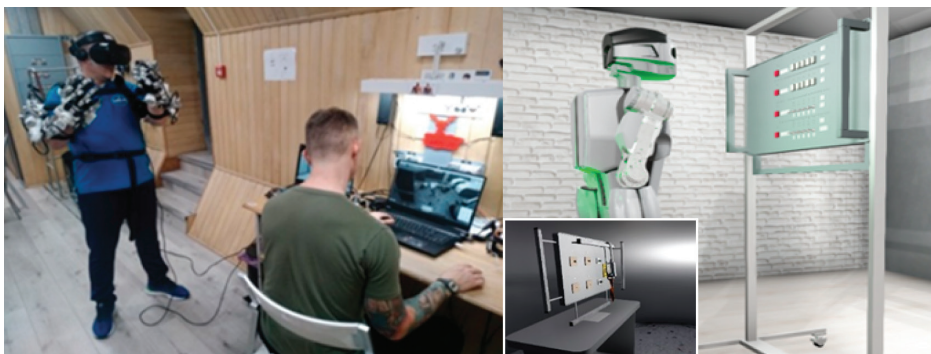


Рис. 1. Фрагменты проведения ЭИ по космической робототехнике в ИЭ «SIRIUS-21»



Рис. 2. Фрагменты проведения ЭИ по определению ВУ космонавтов при управлении РТС АТ



Рис. 3. Фрагменты проведения ЭИ по управлению ИП посредством АР

Проведение этих дополнительных ЭИ позволили:

– определить наличие у операторов такого типа РТС различных операторских качеств (рис. 4) [5] и разной ВУ (рис. 5) [6], показатели которых необходимо учитывать при наземной подготовке космонавтов к ЦР «Теледроид»;

– подтвердить наличие ряда проблемных вопросов, в том числе согласованности кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств антропоморфных робототехнических систем (АРТС) [7], которые требуют решения при создании научной аппаратуры ЦР «Теледроид»;

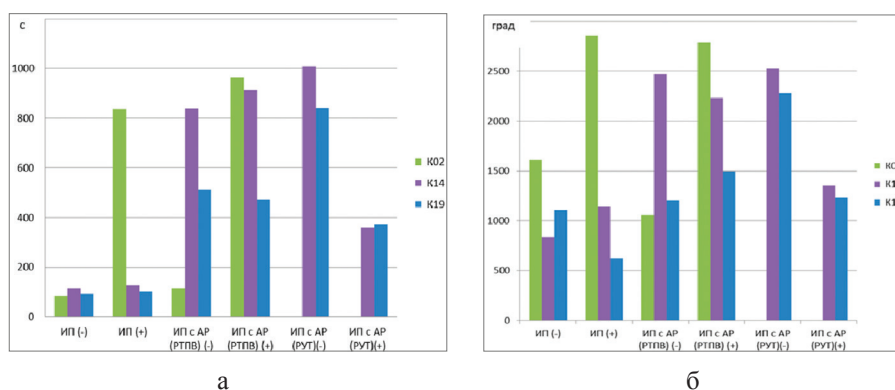


Рис. 4. Изменение показателей ОД космонавтов при управлении АР:

а – время прохождения трассы ИП; б – суммарный угол поворота колес ИП: (-) и (+) – ЭИ, соответственно, до и после космического полета; ИП – непосредственное управление космонавтом ИП; ИП с АР – управление космонавтом ИП посредством АР; РТПВ – режим телеуправления в прямой видимости АР; РУТ – режим удаленного телеуправления АР; K02, K14, K19 – присвоенные номера космонавтам

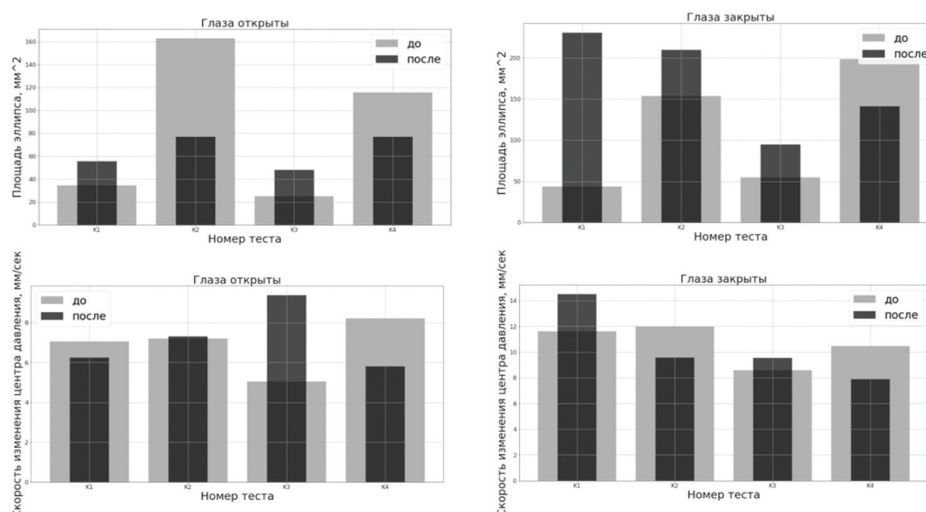


Рис. 5. Изменения показателей ВУ космонавтов в тесте Ромберга до и после выполнения управления РТС в виртуальной среде

– сформировать предложения по проведению научно-прикладных исследований в области космической робототехники [8], включая возможности отработки коллаборативного использования антропоморфной и манипуляционной РТС для операционной поддержки внекорабельной деятельности космонавтов [9], которые предполагается реализовать в рамках открытия новой ЦР «Дроидера» при успешном завершении ЦР «Теледроид»;

– отработать «от простого к сложному» элементы технологии привития первоначальных навыков управления РТС АТ с использованием виртуальной модели и их физического образца, которые будут внедрены в практикум лабораторно-экспериментальных исследований на УКС РТС, апробированы в группе общекосмической подготовки на занятиях с кандидатами в космонавты (рис. 6) и могут быть использованы в процессе наземной подготовки космонавтов к бортовой реализации ЦР «Теледроид».



Рис. 6. Фрагменты проведения практикума лабораторно-экспериментальных исследований на УКС РТС

Следует отметить, что ЦР «Теледроид» в отличие от КЭ «Испытатель» сориентирована на решение более широкого спектра задач, таких как:

1) исследование ОД космонавта-оператора при управлении виртуальной моделью РТС АТ на борту РС МКС;

2) отработка технологий управления РТС АТ при выполнении операций вне- и внутрикорабельной деятельности по заданным сценариям:

– в интерактивном «копирующем» режиме – космонавтом, находящимся на борту РС МКС, с помощью задающего устройства копирующего типа (ЗУКТ) с отображением обратной связи по усилию и с модулем визуализации;

– в автоматическом режиме – по предварительно сформированным программам, в том числе с применением методов «машинного» обучения;

– в супервизорном режиме, в том числе с использованием технологии голосового управления;

3) исследование комплексного влияния внешних воздействующих факторов открытого космического пространства на стабильность характеристик модулей РТС АТ.

Наземную подготовку космонавтов к бортовой реализации ЦР «Теледроид» планируется осуществить на УКС РТС, который с учетом накопленного опыта его целевого использования прошел в 2023 г. уже вторую модернизацию.

Возможности УКС РТС до второй модернизации

В ноябре 2018 г. в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» были успешно проведены приемочные испытания УКС РТС, который создавался на базе единого комплекса программно-аппаратных средств моделирования и визуализации виртуальных интерактивных 3D-моделей роботов и их внешнего окружения. В его состав входили четыре автоматизированных рабочих места (АРМ) операторов и членов испытательно-тренировочной бригады, ЗУКТ с обратной силомоментной связью и шлемом виртуальной реальности, а также специальное программное обеспечение (СПО). После проведения мероприятий по подготовке персонала в апреле 2019 г. данный УКС РТС был официально введен в эксплуатацию для подготовки космонавтов и проведения ЭИ (рис. 7).

В мае 2019 г. на стенде проходила подготовка космонавтов А.А. Скворцова (рис. 8) и С.Н. Рыжикова (членов основного и дублирующего экипажей экспедиции МКС-60/61) к проведению космического эксперимента «Испытатель» по проверке возможности использования АРТС в условиях космического полета.



Рис 7. Универсальный компьютерный стенд робототехнических систем



Рис. 8. Подготовка А.А. Скворцова к проведению КЭ «Испытатель» на УКС РТС с применением технологического макета-1

На первом этапе подготовки использовались только штатные возможности УКС РТС. Космонавты отрабатывали элементы полетных операций (работа с аккумуляторной дрелью, отверткой, ключом-трещеткой и др.) в виртуальном пространстве. Впоследствии для повышения качества подготовки космонавтов в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» был временно передан технологический макет-1 (ТМ-1) АР, созданный АО «НПО «Андроидная техника» в рамках проекта «Спасатель». Дальнейшая подготовка к КЭ проводилась с использованием ТМ-1.

По результатам подготовки были сформированы требования к проведению первой модернизации УКС РТС, по итогам которой стенд был дооснащен мобильным АРМ (АРМ-М), в состав которого входят: два мобильных персональных компьютера (ноутбуки); мобильное ЗУКТ (ЗУКТ-М) с вибро-тактильной обратной связью; шлем виртуальной реальности; система медицинского контроля (СМедК); переносная видеокамера; многофункциональное устройство (формата А3).

Также было доработано СПО, повышено качество 3D-моделей, добавлены новые поверхности Луны и Марса, а также 3D-модели мобильной платформы (МП) с установленной на ней АР. Обновленное СПО и появление АРМ-М позволило проводить отработку действий операторов с применением двух виртуальных АР, а также реализовать взаимодействие операторов АР и МП.

Еще одним новым элементом УКС РТС стала база данных результатов тренировок и исследований (БДРТИ). БДРТИ позволяет накапливать данные по проводимым тренировкам и исследованиям, такие как: дата и время проведения исследований; антропометрические данные операторов; записи с камер виртуального окружения и технического зрения виртуальных АР; запись показателей СМедК [3].

Однако, несмотря на повышение показателей и возможностей, в системе УКС РТС оставался один серьезный недостаток – отсутствие в его составе реальных образцов РТС. ТМ-1, который был передан в полное пользование ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», не отвечал требованиям, предъявляемым к подготовке космонавтов и проведению исследований, так как, ввиду отсутствия технической поддержки со стороны организации-изготовителя, находился в режиме ограниченной функциональности. Это не обеспечивало достижимость технической и технологической схожести с создаваемым физическим образцом АР ЦР «Теледроид». Ремонт ТМ-1 не представлялся целесообразным, а выбранные в процессе разработки и создания ТМ-1 технические решения и некоторые применяемые компоненты не позволяли рассчитывать на относительно долгие сроки службы и надежность проведения испытаний без оперативного проведения ремонтных работ. В конечном итоге специалистами научно-исследовательской лаборатории робототехнических и интеллектуальных систем для пилотируемых космических полетов (НИЛ РИСПКП) ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», с целью расширения функциональных возможностей УКС РТС для подготовки космонавтов к управлению РТС при выполнении программ космических полетов и планетных миссий, были сформулированы требования для второй модернизации УКС РТС. Она планировалась для подготовки и проведения исследований и экспериментальной отработки проблемных вопросов взаимодействия космонавтов с РТС в интересах обеспечения операционной и информационной поддержки деятельности экипажей при реализации перспективных пилотируемых программ, а также для формирования у космонавтов умений и навыков

по взаимодействию с РТС космического назначения. Работы по модернизации были начаты в июне 2022 г. и успешно завершены в ноябре 2023 г.

Возможности УКС РТС после второй модернизации

По результатам модернизации УКС РТС был дооснащен АР и МП. АР в торговом исполнении был создан с применением некоторых элементов ТМ-1, таких как электромеханические сборки приводов манипуляторов и конструктив схватов, а в остальном это был уже новый робот. АР оснащен базовым вычислительным модулем, который позволяет управлять РТС как в интерактивном «копирующем» режиме, так и в автономном режиме (с помощью планировщика задач и с учетом плана ограничений), включающем элементы технологии автоматического управления и/или супервизорного управления, в том числе с технологией системы голосового управления (СГУ). Полностью изменен головной модуль (ГМ). Применяемые в нем камеры подсистемы технического зрения (СТЗ) позволяют добиться не только стереоскопического видения, но и распознавать элементы функциональных панелей (кнопки и тумблеры) для работы в автономном режиме (рис. 9).

Так же ГМ был оснащен четырьмя осветителями, обеспечивающими подсветку рабочей зоны АР и приводимыми в действие при помощи СГУ. Манипуляторы и схваты АР оборудованы датчиками обратной силовой связи, что позволило в полной мере раскрыть потенциал ЗУКТ и ЗУКТ-М. Схваты АР позволяют выполнять элементы полетных операций как при внекорабельной, так и при внутрикорабельной деятельности. Это прежде всего снятие и фиксация карабина с поручня сечением 25×25 мм, работа с аккумуляторной дрелью, открытие и закрытие клапанов, включение и выключение кнопок и тумблеров (в том числе и в автономном режиме).

МП предназначена для передвижения АР между рабочими зонами объектов манипуляций, а также без использования АР для отработки взаимодействия космонавтов с напланетным роботизированным средством передвижения. МП представляет собой четырехколесное самоходное устройство, где все четыре колеса (независимые мотор-колеса, обеспечивающие поступательное движение и вращение для поворота) размещены на индивидуальных амортизированных стойках (рис. 10, 11) и синхронизируются автоматикой при заданном движении. Скорость МП может варьироваться от 1 до 6 м/с. Автономность МП обеспечивается двумя аккумуляторными батареями и составляет не менее 2 часов активной работы АР и МП. В корпусе МП имеется «бункер» для сбора материалов, транспортировки имитаторов научной аппаратуры и пр. АР сопряжен с МП посредством промежуточного актуатора, который позволяет производить наклон АР для сбора материалов с подстилающей поверхности. Оборудование МП позволяет строить двухмерную карту поверхности (помещения), прокладывать маршрут и автономно перемещаться в заданную оператором точку. Также МП оснащена системой остановки при внезапном появлении препятствия.



Рис. 9. АР

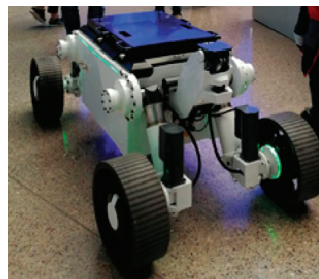


Рис. 10. МП

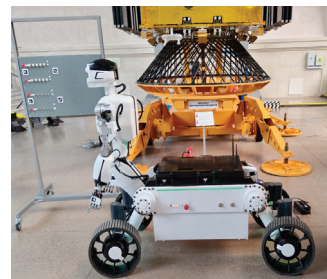


Рис. 11. АР на МП

Помимо дооснащения УКС РТС АР и МП было доработано СПО. Добавлены интерфейсы управления АР и МП. Интерфейс управления АР позволяет применять автономный режим управления и представляет собой «системные окна» СТЗ и СГУ (рис. 12), на которых отражаются среда деятельности и распознанные объекты, а также выданные оператором голосовые команды и степень их распознавания в процентах. Голосовая команда идет на исполнение, если степень ее распознавания выше 80 %.

Интерфейс МП позволяет отображать двухмерную карту поверхности, построенную оборудованием МП, и вводить на ней точки маршрута, по которому необходимо перемещаться в автономном режиме.

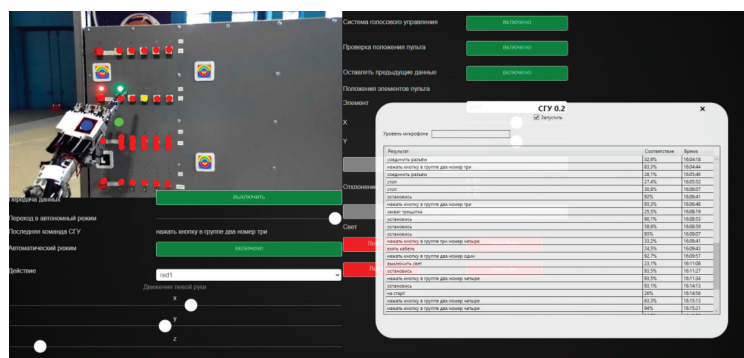


Рис. 12. Интерфейс управления АР (нажатие кнопки в автоматическом режиме по голосовой команде оператора)

После ввода точек маршрута СПО автоматически выстраивает маршрут, который позволяет ей переместиться через все точки заданного маршрута с учетом особенностей движения, при этом маршрут и реальная траектория перемещения МП отображаются на карте (рис. 13).

При управлении МП в ручном режиме, на карте отображается «джойстик» (рис. 14), который позволяет оператору управлять движением МП «вперед-вправо-влево» и «назад-вправо-влево», при этом движение (положение) МП отображается на карте.

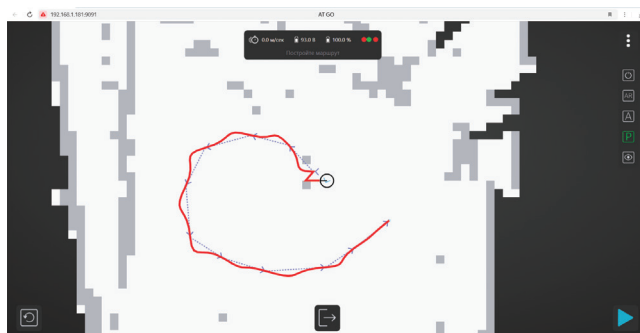


Рис. 13. Интерфейс управления МП
(заданные точки и маршрут, построенный оборудованием МП)

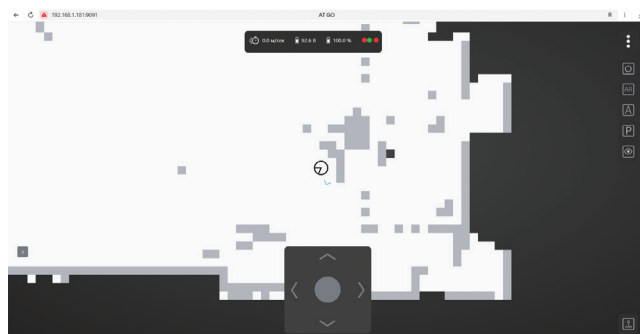


Рис. 14. Интерфейс управления МП (управление в ручном режиме)

Также имеется специальное приложение, позволяющее отслеживать и сохранять параметры МП, такие как время проведения эксперимента, скорость (текущая и средняя), пройденное расстояние, энергетические параметры и др.

При доработке СПО были внесены изменения в библиотеки виртуальных моделей, добавлены модели АР и МП с учетом их технических параметров, добавлены модели некоторых инструментов и приспособлений (рис. 15). Внесены изменения в модели внешнего окружения (лунной и марсианской поверхности). Все новые и доработанные модели имеют более высокое качество и достоверность исполнения.

Таким образом, модернизация УКС РТС позволила дооснастить его систему физическим образцом АР, совмещенным с МП, в котором реализованы возможности автоматического управления по предварительно сформированным программам и супервизорного управления, в том числе с использованием технологии голосового управления. Это может стать основой для создания экспериментальных образцов РТС АР нового поколения, по своей сути являющихся *мобильными АР, функционирующими автономно* (условная аббревиатура – МАРФА).

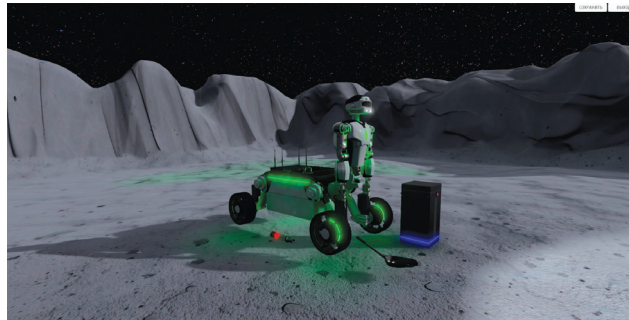


Рис. 15. Виртуальная модель АР, установленная на МП (лунная поверхность)

Кроме основных режимов работы АР, совмещенного с МП, предусмотрен интерактивный «копирующий» режим, реализованный на базе применения ЗУКТ, который предполагается использовать космонавтами при внештатных ситуациях или при необходимости гарантируемого выполнения особо важных операций.

Следует констатировать, что еще остается решенный не в полной мере вопрос обеспечения согласованности кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств АРТС [7] при различных антропометрических особенностях космонавтов. Исследования ученых по разрешению данного проблемного вопроса продолжаются. В частности, разрабатываются алгоритмы повышения точности позиционирования углов поворота рычага управления бортовой РТС АТ [10].

Выводы

Проведенная модернизация расширила функциональные возможности УКС РТС и обеспечила достижимость некоторой технической и технологической схожести его составных компонентов с создаваемыми виртуальными моделями и физическим АР ЦР «Теледроид». Это позволит заблаговременно формировать у космонавтов, участвующих в ее бортовой реализации, первоначальные навыки по управлению АР до момента их поступления в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» в качестве тренажерного образца.

Кроме этого, модернизированный УКС РТС позволяет отработать совместную ОД космонавтов по управлению РТС АТ.

В частности, с одной стороны, это относится к контролю МП при обеспечении транспортных задач (перемещение, доставка АР к объекту, его относительное позиционирование), с другой стороны – по управлению АР в ходе обеспечения сервисных задач (для выполнения манипуляций с объектом).

Такого рода совместная деятельность возможна и при коллаборативном использовании антропоморфной и манипуляционной РТС для операционной поддержки внекорабельной деятельности космонавтов при обеспечении, соответственно, сервисных и транспортных задач. Они также могут

быть предварительно экспериментально исследованы и отработаны на УКС РТС в рамках постановки ЦР «Дроидера».

В настоящее время модернизированный в 2023 г. УКС РТС проходит стадию экспериментальной отработки, в том числе в ходе его целевого использования при проведении ЭИ по космической робототехнике, где, в частности, решаются задачи:

1. Определения операционно-технологических аспектов применения коллаборативных РТС в процессе обеспечения автономности выполнения совместных операций при ограничениях функциональных возможностей членов экипажа в условиях имитации факторов длительной космической экспедиции (в рамках проведения ИЭ «SIRIUS-23») [11].

2. ЭИ выполнения космонавтами совместной ОД по применению АР, совмещенного с МП, в режиме телеуправления (в рамках выполнения НИР «Созвездие – ЛМО») [12].

По итогам проведения ЭИ с использованием модернизированного УКС РТС планируются публикации в научном журнале, где предполагается развернуто показать особенности постановки и выполнения ЭИ, а также представить полученные научные результаты.

Несомненно, накопленный в Центре опыт создания, модернизации и целевого использования УКС РТС будет учтен при разработке эскизного проекта комплексного стенда-тренажера РТС [8], являющегося составной частью технических средств подготовки космонавтов по научно-прикладным исследованиям и КЭ новой Российской орбитальной станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теледроид: эксперимент / Центральный научно-исследовательский институт машиностроения: [официальный сайт]. – 2025. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (дата обращения 12.05.2025).
2. Испытатель: эксперимент / Центральный научно-исследовательский институт машиностроения: [официальный сайт]. – 2025. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/ispytatel/> (дата обращения 12.05.2025).
3. Предпосылки и результаты модернизации универсального компьютерного стенда робототехнических систем / В.А. Дикарев, В.А. Довженко, Э.В. Никитов, Ю.С. Чеботарев // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 4(41). – С. 36–47.
4. Исследование возможностей использования робототехнических систем для поддержания операторской деятельности экипажей и формирования экосистемы / микроклимата сотрудничества / В.А. Дикарев, В.И. Дубинин, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2023. – № 2(47). – С. 15–31.
5. Экспериментальные исследования вестибулярной устойчивости космонавтов при управлении робототехническими системами в виртуальной среде: постановка, проведение, результаты / В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2023. – № 3(48). – С. 5–20.

6. Экспериментальные исследования операторской деятельности космонавтов при управлении движением транспортного средства (имитатора планетохода) посредством антропоморфного робота: постановка, проведение, результаты / В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2023. – № 4(49). – С. 29–41.
7. Проблема обеспечения соответствия кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств антропоморфных робототехнических систем для перспективных пилотируемых космических программ / В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 4(45). – С. 54–71.
8. О создании комплексного стенда-тренажера робототехнических систем для решения научно-прикладных задач на Российской орбитальной станции / В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Д.А. Петелин [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2024. – № 2(51). – С. 47–62.
9. О возможности отработки коллаборативного использования антропоморфной и манипуляционной робототехнической системы для операционной поддержки внекорабельной деятельности космонавтов / В.А. Дикарев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев, Э.В. Никитов [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 3(44). – С. 69–84.
10. Разработка алгоритма повышения точности позиционирования рычага управления бортовой антропоморфной робототехнической системой / А.Е. Белявский, А.Ю. Кикина, А.В. Федяев, А.В. Иванова // Пилотируемые полеты в космос. – 2025. – № 1(54). – С. 84–97.
11. Некоторые результаты исследования с использованием робототехнических систем в обеспечении автономности выполнения совместной операторской деятельности членов экипажей в условиях имитации факторов длительной космической экспедиции в рамках эксперимента «SIRIUS-23» / Ю.С. Чеботарев, А.Н. Симбаев, И.А. Буковская, В.А. Дикарев // Материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции «Быковские чтения – 2025». – С. 65–68.
12. Реабилитация в компании с роботом: космонавт Роскосмоса Иван Вагнер проходит послеполетные исследования в рамках НИР «Созвездие – ЛМО» / Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина: [официальный сайт]. – 2011. – URL: <https://www.gctc.ru/main.php?id=7142> (дата обращения 12.05.2025).

REFERENCES

1. Teledroid: an experiment / Central Scientific Research Institute of Mechanical Engineering: [official website]. – 2025. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (date of access 05.12.2025).
2. Tester: an experiment / Central Scientific Research Institute of Mechanical Engineering: [official website]. – 2025. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/isyatatel/> (date of access 05.12.2025).
3. Prerequisites and results of Modernization of Multipurpose Computer-Aided Simulator of Robotic Systems / V.A. Dikarev, V.A. Dovzhenko, E.V. Nikitov, Y.S. Chebotarev // Manned Spaceflight. – 2021. – No 4(41). – P. 36–47.
4. Investigation of Robotic Systems Possibilities to Support Crew's Operator Activity and Formation of Cooperation Ecosystem/ Microclimate / V.A. Dikarev, V.I. Dubinin,

- A.N. Simbaev, A.Y. Kikina [et. al] // Manned Spaceflight. – 2023. – No 2(47). – P. 15–31.
5. Experimental Studies of Cosmonauts' Vestibular Stability When Controlling Robotic Systems in a Virtual Environment: Formulation, Implementation, Results / V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, A.Y. Kikina, Y.S. Chebotarev [et. al] // Manned Spaceflight. – 2023. – No 3(48). – P. 5–20.
 6. Experimental Studies of Cosmonaut Performance when Operating a Vehicle (a Rover Simulator) by Using Anthropomorphic Robot: Statement, Carrying out, Results / V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, A.Y. Kikina, Y.S. Chebotarev [et. al] // Manned Spaceflight. – 2023. – No 4(49). – P. 29–41.
 7. The Problem of Ensuring the Conformity between Kinematic Characteristics of Executive Devices and Master Controllers of Humanoid Robotic Systems for Future Manned Space Programs / V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, A.Y. Kikina, Y.S. Chebotarev [et. al] // Manned Spaceflight. – 2022. – No 4(45). – P. 54–71.
 8. On the Creation of an Integrated Simulator Stand of Robotic Systems for Implementing Scientific and Applied Tasks onboard the Russian Orbital Station / V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, A.Y. Kikina, D.A. Petelin // Manned Spaceflight. – 2024. – No 2(51). – P. 47–62.
 9. The Possibility of Maturing the Collaborative Use of the Anthropomorphic Robotic System and Manipulation Robotic System for Operational Support of Cosmonaut's Extravehicular Activity / V.A. Dikarev, A.Y. Kikina, Y.S. Chebotarev, E.V. Nikitov [et. al] // Manned Spaceflight. – 2022. – No 3(44). – P. 69–84.
 10. Development of an Algorithm for Increasing the Accuracy of Positioning the Rotation Angles of the Control Lever of the Onboard Anthropomorphous Robotic System / A.E. Belyavsky, A.Y. Kikina, A.V. Fedyaev, A.V. Ivanova // Manned Spaceflight. – 2025. – No 1(54). – P. 84–97.
 11. Some results of a study using robotic systems to ensure the autonomy of performing joint operational activities of crew members in conditions of simulating the factors of a long-term space expedition as part of the «SIRIUS-23» experiment / Y.S. Chebotarev, A.N. Simbaev, I.A. Bukovskaya, V.A. Dikarev // Materials of the 2nd All-Russian scientific and practical conference “Bykov Readings – 2025”. – P. 65–68.
 12. Rehabilitation in company with a robot: Roscosmos cosmonaut Ivan Wagner undergoes post-flight research as part of the «Constellation – LMO» / Gagarin Cosmonaut Training Center: [official website]. – 2011. – URL: <https://www.gctc.ru/main.php?id=7142> (date of access 05.12.2025).