

ПРЕДПОСЫЛКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО СТЕНДА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.А. Дикарев, В.А. Довженко, Э.В. Никитов, Ю.С. Чеботарев

Докт. техн. наук, профессор В.А. Дикарев; канд. техн. наук,
доцент В.А. Довженко; Э.В. Никитов; Ю.С. Чеботарев
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются особенности создания универсального компьютерного стенда робототехнических систем (УКС РТС) Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, проведен анализ его экспериментальной отработки и использования в процессе проведения исследований и подготовки космонавтов, выявлены предпосылки к проведению модернизации. Представлены результаты проведенных изменений в составных частях УКС РТС и дооснащения новыми элементами, обеспечивающих расширение функциональных возможностей стенда.

Ключевые слова: универсальный компьютерный стенд робототехнических систем, антропоморфный робот, копирующий режим управления, задающее устройство копирующего типа.

Motivation and Results of Modernization of Multipurpose Computer-Aided Simulator of Robotic Systems. V.A. Dikarev, V.A. Dovzhenko, E.V. Nikitov, Yu.S. Chebotarev

The paper discusses the features of creating a multi-purpose computer-aided simulator of robotic systems (MCS RTS) at the Cosmonaut Training Center, analyzes its experimental development and use in the process of training of cosmonauts, and identifies the reasons for further modernization. The results of updating the constituent parts of the MCS RTS and retrofitting the simulator with new elements that provide an expansion of its functionality are presented.

Keywords: a multi-purpose computer-aided simulator of robotic systems, humanoid robot, master-slave mode, the master device.

Достижение целей пилотируемой космонавтики в освоении ближнего и дальнего космоса предполагает использование робототехнических систем (РТС) космического назначения. Роботы могут взять на себя задачи, связанные с выполнением технического обслуживания пилотируемых космических комплексов, выполнением трудоемких, рутинных и опасных операций космического полета. Среди имеющегося разнообразия типов робототехнических систем рассматривается вариант использования антропоморфных (человекоподобных) роботов для поддержки деятельности экипажей пилотируемых космических аппаратов (ПКА) в космическом полете и при осуществлении напланетной деятельности космонавтов на поверхности Луны,

Марса, астероидов. В настоящее время значительный интерес вызывает дистанционное управление антропоморфными роботами, что предполагает передачу человеком-оператором задающих воздействий антропоморфному роботу в копирующем режиме. При данном способе управления РТС применяются задающие устройства копирующего типа, представляющие собой носимый костюм (экзоскелет), надеваемый на торс человека-оператора (ЧО), а также средства отображения технического зрения РТС, очки (шлемы) виртуальной реальности. В этом случае часто применяется копирование движений ЧО в реальном масштабе времени и реализация силомоментной и тактильной обратных связей при управлении физическим роботом или его 3D-моделью.

Уже более 10 лет (с 2010 года) ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» активно участвует в научно-техническом сопровождении создания и экспериментальной отработки РТС космического назначения. Ряд работ, связанных с эргономическими исследованиями и испытаниями различных робототехнических систем космического назначения, проводятся по заказу и совместно с АО «ЦНИИмаш». Исходя из необходимости проведения исследований и экспериментов в области человеко-машинных интерфейсов на ранних этапах проектирования космических РТС, стало актуальным создание исследовательского компьютеризированного стенда, предназначенного для изучения и уточнения режимов функционирования системы «космонавт–РТС–профессиональная среда деятельности» и рационального построения интерфейсов между частями этой системы. В результате проведенных исследований в 2016 году были сформированы требования и техническое задание на разработку и создание УКС РТС на базе единого комплекса программно-аппаратных средств моделирования и визуализации виртуальных интерактивных 3D-моделей роботов и их внешнего окружения. В 2017 году техническое задание было скорректировано, и в состав стенда было включено задающее устройство копирующего типа (ЗУКТ). В 2018 году были проведены приемочные испытания, и стенд был принят в опытную эксплуатацию в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Появление стенда позволило использовать его функционал для подготовки космонавтов к управлению РТС космического назначения (как физическим роботом, так и его виртуальной моделью) в копирующем режиме, а также открыло возможности для исследования и наземной отработки космонавтами эргатической системы «космонавт–РТС–среда деятельности» [1].

УКС РТС предназначен для отработки навыков управления космонавтом различными РТС антропоморфного типа и проведения эргономических исследований прототипов роботов и задающих устройств.

Стенд позволяет:

1) отрабатывать взаимодействие космонавтов с виртуальными и физическими моделями различных РТС космического назначения и проводить эргономические исследования;

2) проводить подготовку космонавтов в объеме ознакомления с особенностями РТС, принципами и основами операторской деятельности по управлению РТС различного целевого назначения и конструктивного исполнения в различных условиях эксплуатации (на борту ПКА, при ВКД в ходе космического полета, в процессе напланетной деятельности и др.);

3) проводить исследования и экспериментальную отработку эргономических характеристик системы «космонавт–РТС–среда деятельности», оценку человеко-машинных интерфейсов и функциональных возможностей космонавтов при выполнении полетных операций с использованием РТС различного исполнения и целевого назначения, в том числе в интересах отработки методик подготовки космонавтов к работе с РТС;

4) формировать базы исходных данных для проведения натурных космических экспериментов в части взаимодействия космонавтов с образцами РТС, планируемыми к доставке на борт космической станции, на основе использования результатов предварительных исследований на стенде.

УКС РТС представляет собой технический комплекс (рис. 1), включающий следующие основные элементы: четыре автоматизированных рабочих места, две серверные стойки, обеспечивающие работу стенда, экран коллективного пользования с проектором, ЗУКТ с обратной силомоментной и тактильной связями для управления физическим роботом или его 3D-моделью в виртуальной среде, очки виртуальной реальности, а также программный комплекс, реализующий виртуальные модели антропоморфных роботов, их окружения (рабочих зон) и используемого инструментария.

Стенд позволяет формировать и накапливать «базы данных» выполнения технологических операций операторами при проведении экспериментальных исследований, детализировать их по элементам, а затем – исполнять под контролем оператора или автономно. Этим может быть достигнута возможность впоследствии управлять роботами не только локально с борта КА, но и дистанционно, например, с Земли, выводя управляющую программу робота в виде как отдельного действия, так и последовательности команд.



Рис. 1. Универсальный компьютерный стенд робототехнических систем

Полученный опыт использования УКС РТС для выполнения элементарных технологических операций (нажатие кнопок, переключение тумблеров, захват используемых на борту ПКА инструментов и др.) как опытными операторами (разработчики стенда), так и людьми без навыков работы на подобных стендах (космонавты, сотрудники ЦПК), позволил сделать выводы об обучаемости операторов и о возможностях подготовки космонавтов с помощью стенда к перспективным космическим полетам с участием антропоморфных роботов [2].

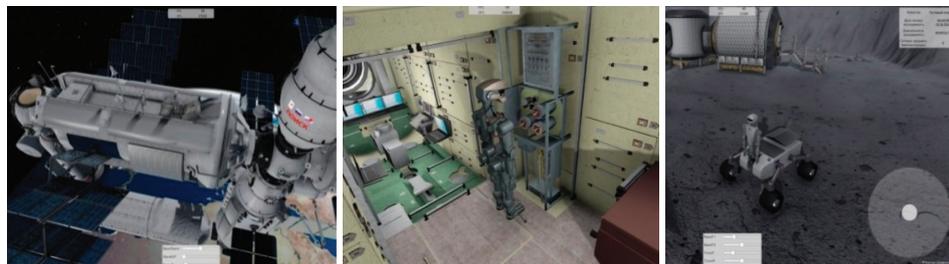
В 2019 году на УКС РТС проводилась подготовка космонавтов А.А. Скворцова и С.Н. Рыжикова – членов основного и дублирующего экипажей экспедиции МКС-60/61 к проведению космического эксперимента «Испытатель» по проверке возможности использования и управления антропоморфной РТС в условиях космического полета. В ходе подготовки космонавты ознакомились с составом РТС, были освоены способы и принципы управления РТС в копирующем режиме [3].

Однако уже в начале эксплуатации УКС РТС стали появляться новые идеи и рациональные предложения о внесении ряда изменений в конструкции составных частей стенда и доработки его программного обеспечения, дооснащения дополнительными рабочими местами участников процессов подготовки и исследований в целях улучшения его функциональных и исследовательских возможностей. Так, например, в процессе эксплуатации УКС РТС проявилось: недостаточное насыщение виртуальных сцен интерактивными объектами, такими, как поручни, органы управления, бортовое оборудование; виртуальные модели РС МКС не имели в своем составе перспективных модулей (МЛМ, УМ, НЭМ); отсутствие возможности введения временной задержки в контуре управления роботом; отсутствие мобильности стенда для проведения подготовки космонавтов на сторонних площадках; сложности в оперативной и эргономичной подгонке звеньев ЗУКТ в соответствии с антропометрическими данными оператора.

Проведение на стенде УКС РТС экспериментальных исследований и подготовка космонавтов к космическому эксперименту с привлечением космонавтов позволили выработать предложения по усовершенствованию стенда для расширения его функциональных возможностей. Модернизация УКС РТС проводилась специалистами АО «НПО «Андроидная техника» на производственной базе в городе Магнитогорске.

По итогам модернизации стенд приобрел обновленное программное обеспечение в части отображаемой виртуальных сцен:

- модели модулей МКС, Луны, Марса (рис. 2);
- модели роботов (стационарные торсовые роботы, а также роботы, установленные на планетоходах) (рис. 3);
- виртуальные модели используемых космонавтами на борту МКС инструментов, приспособлений и предметов (рис. 4): электрическая дрель, огнетушитель, карабины, клапаны, штепсельные разъемы и др.



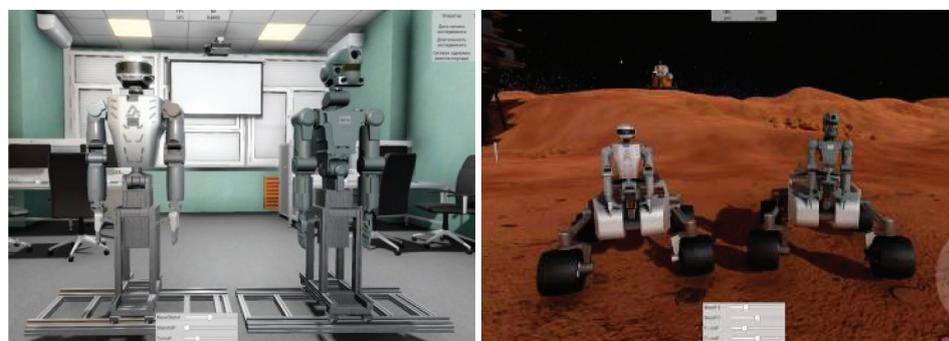
а)

б)

в)

Рис. 2. Новые виртуальные сцены:

а) внешней поверхности МКС; б) служебного модуля МКС; в) поверхности Луны



а)

б)

Рис. 3. Виртуальные модели роботов:

а) стационарных торсовых; б) установленных на планетоходах



а)

б)

в)

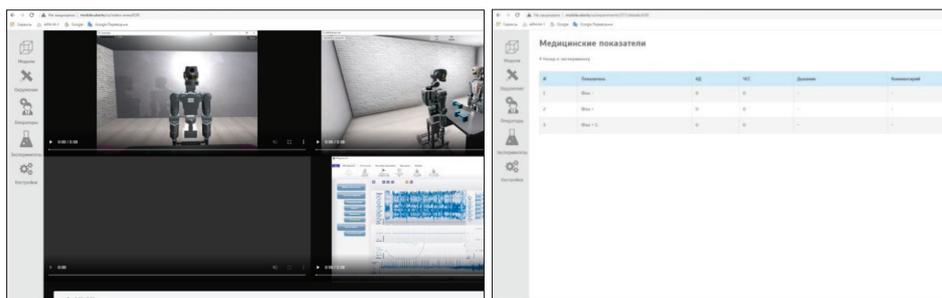
Рис. 4. Образцы виртуальных моделей:

а) инструментов; б) приспособлений; в) предметов

С целью хранения и обработки результатов подготовки космонавтов и экспериментальных исследований (видеофайлы, медицинские показания операторов, выполнявших исследования, время выполнения каждого эксперимента и др.) расширены возможности базы данных результатов исслед-

дований (БДРИ). Обновленная БДРИ позволит накапливать и обрабатывать видеоконтент, поступающий от средств технического зрения РТС, камеры виртуального окружения РТС, от внешней видеокамеры, а также сохранять запись параметров системы медицинского контроля (рис. 5). Введена возможность занесения медицинских показателей в ручном режиме (артериальное давление, частота сердечных сокращений, дыхание, дополнительный комментарий).

Дополнительно УКС РТС оснащен мобильным автоматизированным рабочим местом (АРМ-М) (рис. 6), в состав которого входят мобильное ЗУКТ с интегрированным шлемом виртуальной реальности, две вычислительные станции на базе портативных компьютеров. Основной целью дооснащения УКС РТС АРМ-М является возможность его использования отдельно от основных мощностей стенда. Все оборудование АРМ-М размещается в одном кейсе и может оперативно перемещаться в заданное место. При этом с точки зрения функциональности и возможностей АРМ-М уступает основным мощностям УКС РТС только по показателям ЗУКТ-М (не имеет обратной силомоментной связи).



а)

б)

Рис. 5. Вкладки БДРИ: а) видеоконтента; б) медицинских показателей



Рис. 6. Мобильное автоматизированное рабочее место оператора

Программное обеспечение АРМ-М идентично программному обеспечению УКС РТС и поддерживает все его возможности, обеспечена синхронизация результатов исследований в БДРИ. Совместное использование АРМ-М с основными мощностями УКС РТС позволит проводить подготовку и исследования по управлению одновременно двумя антропоморфными РТС с задействованием двух космонавтов (либо операторов для управления РТС) (рис. 7).

Одной из новых систем стенда стала система медицинского контроля (СМедК) оператора, интерфейс которой изображен на рис. 8.

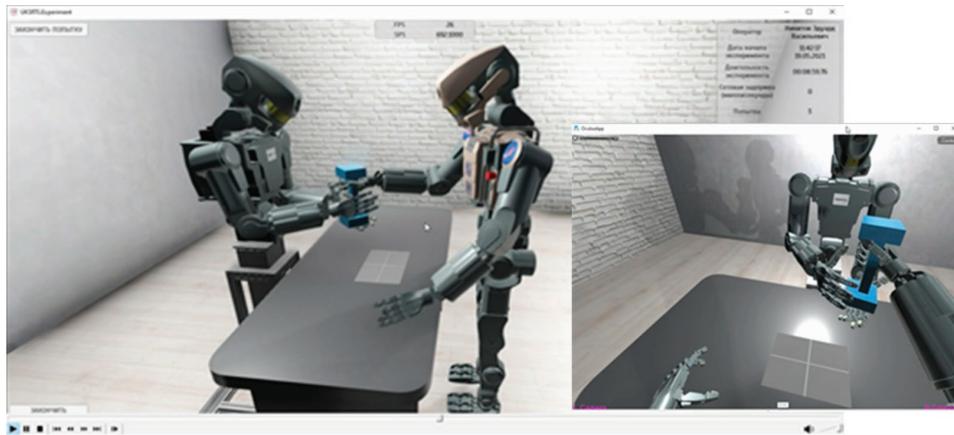


Рис. 7. Одновременное управление двумя антропоморфными РТС

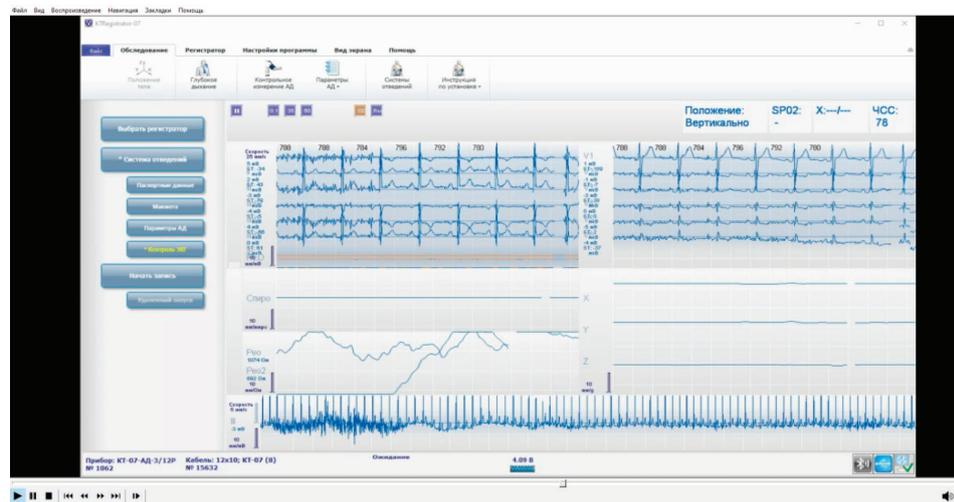


Рис. 8. Интерфейс системы медицинского контроля оператора

Созданная на базе холтеровского монитора, СМедК позволяет производить контроль физического состояния космонавта-оператора РТС по таким параметрам, как электрокардиограмма (минимум в 3 отведениях), частота сердечных сокращений, пневмограмма и артериальное давление. СМедК мобильна и может использоваться совместно с АРМ-М. Помимо хранения результатов медицинского контроля в БДРИ, они могут быть представлены в печатной форме с помощью многофункционального устройства форматом А3. Использование СМедК дает возможность более точно оценивать нагруженность операторов при выполнении различных типов задач в привязке ко времени, что, в свою очередь, позволит корректировать имеющиеся и разрабатывать новые методические рекомендации по подготовке космонавтов к управлению РТС в разных условиях.

С целью обеспечения видеофиксации процесса подготовки и проведения исследований действий операторов для их дальнейшего разбора и устранения ошибок стенд был дооснащен переносной видеокамерой.

Также проведена доработка ЗУКТ и его стойки (рис. 9):

- упрощен процесс подгонки длины кинематических звеньев ЗУКТ в соответствии с антропометрическими данными оператора;
- на элементах конструкции ЗУКТ нанесена градуировка, для определения длин кинематических звеньев, с целью их сохранения в БДРИ;
- изменена конструкция фиксации пальцев и ладоней оператора в экзокисти;
- изменение высоты ЗУКТ (его масса – 25 кг) на стойке производится с помощью электропривода;
- стойка ЗУКТ оборудована колесными механизмами с устройствами фиксации, обеспечивающими ее оперативное перемещение по полу лаборатории и повороты на нужные углы.



Рис. 9. ЗУКТ: а) общий вид на стойке; б) конструктивные особенности; в) конфигурация стойки

Проведенная модернизация стенда направлена на повышение качества проведения подготовки космонавтов к перспективным космическим полетам с использованием РТС и проведения исследований и наземной отработки перспективных РТС космического назначения. С опытом использования стенда раскрываются перспективы и направления дальнейшего расширения возможностей УКС РТС, которые позволят обрабатывать на нем способы управления не только антропоморфными РТС и планетоходами, но и различного рода манипуляторами, свободно летающими РТС и др. Стенд можно считать основой для отработки эргономики перспективных роботов при участии космонавтов. При последующем дооснащении стенда нужными моделями роботов и необходимыми рабочими зонами можно будет создать методику и организовать подготовку космонавтов по соответствующей программе полета.

По завершении модернизации УКС РТС по инициативе научно-исследовательской лаборатории робототехнических и интеллектуальных систем для пилотируемых космических полетов (НИЛ РИСПКП) ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» осуществлена предварительная апробация его потенциальных возможностей с участием космонавтов-испытателей отряда космонавтов ГК «Роскосмос» (рис. 10) и членов основного и дублирующего экипажей эксперимента «SIRIUS 21» («Комплексное изучение адаптационных процессов, происходящих в организме человека при моделировании отдельных факторов космического полета в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания») при отработке выполнения исследования «Использование робототехнических систем для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации перспективных пилотируемых космических программ» по направлению «Космическая робототехника».



а)

б)

Рис. 10. Апробация АРМ-М УКС РТС космонавтами-испытателями:

а) А.Ю. Кикиной в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»;

б) А.В. Федяевым на выставке форума «Армия-2021»

В ходе предварительной апробации модернизированного УКС РТС подтверждена необходимость продолжения работ по его усовершенствованию, в том числе, в части доработки кистей задающих устройств копирующего типа, как ключевой части устройств управления, а также расширения возможностей использования УКС РТС для отработки выполнения высокоточных технологических операций.

Возможности АРМ-М УКС РТС демонстрировались в августе 2021 года на выставке «Международный военно-технический форум «Армия-2021» (г. Москва) [4] и в октябре 2021 года на выставке «Международный астронавтический конгресс IAC-2021» (г. Дубай (АОЭ)) [5] (рис. 11).



а)

б)

Рис. 10. Демонстрация возможностей АРМ-М УКС РТС:

- а) на выставке «Международный военно-технический форум «Армия-2021»;
- б) на выставке «Международный астронавтический конгресс IAC-2021»

Модернизированный УКС РТС планируется к использованию для проведения серии лабораторно-экспериментальных исследований, в том числе в интересах проектирования коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами [6, 7]. Для этого в целях повышения качества объективного комплексного контроля и обеспечения возможности воспроизведения с помощью виртуальных интерактивных 3D-моделей таких исследований работниками НИИ РИСПКП ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» совместно с АО «НПО «Андроидная техника» проводятся работы по разработке информационной системы регистрации результатов лабораторно-экспериментальных исследований взаимодействия космонавтов с робототехническими системами.

Выводы

1. Проведенная модернизация УКС РТС позволила расширить функциональные возможности УКС РТС в следующих направлениях:

- увеличена номенклатура моделируемых на стенде виртуальных РТС космического назначения;

- обеспечено моделирование деятельности виртуальных РТС в новых виртуальных средах профессиональной деятельности;
- обеспечена видеофиксация процесса и результатов подготовки космонавтов на стенде, а также проводимых на нем экспериментальных исследований РТС;
- обеспечено проведение on-line мониторинга и контроля физического состояния космонавта-оператора РТС по ряду физиологических показателей, позволяющего оценивать «нагруженность» операторов при управлении РТС;
- расширены технические и программные возможности базы данных результатов исследований УКС РТС, в том числе за счет обеспечения возможности автоматизированной оценки действий космонавта-оператора РТС по выбранным критериям;
- за счет дооснащения стенда мобильным автоматизированным рабочим местом обеспечена возможность проведения подготовки космонавтов по управлению РТС космического назначения и выполнения экспериментальных исследований РТС на удалении от стационарного места расположения УКС РТС.

2. В ходе предварительной апробации модернизированного УКС РТС подтверждена необходимость продолжения работ по его усовершенствованию, в том числе в части доработки кистей задающих устройств копирующего типа, как ключевой части устройств управления, а также расширения возможностей использования УКС РТС для отработки выполнения высокоточных технологических операций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чеботарев Ю.С. Использование универсального робототехнического комплекса в интересах развития перспективных роботов поддержки космонавтов в космическом полете // «Орбита молодежи» и перспективы развития российской космонавтики. Материалы VI Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – Пермь, 2020. – С. 368–370.
- [2] Некоторые результаты проведения экспериментальных исследований с антропоморфной робототехнической системой в телеуправляемом копирующем режиме / Сорокин В.Г., Кудь-Сверчков С.В., Чеботарев Ю.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 4(33). – С. 106–121.
- [3] Особенности подготовки экипажей к проведению космического эксперимента «Испытатель» по исследованию возможностей использования телеуправляемого антропоморфного робота в условиях космического полета / Дмитриев В.Н., Сорокин В.Г., Довженко В.А., Чеботарев Ю.С., Никитов Э.В. // Научное значение трудов К.Э. Циолковского: история и современность. Материалы 55-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – 2020. – С. 173–177.
- [4] Космонавты Роскосмоса на Форуме «Армия-2021». – <http://www.gctc.ru/print.php?id=5411> (опубликовано 23.08.2021).
- [5] Международный астронавтический конгресс. День второй. – <https://www.roscosmos.ru/33125/> (опубликовано 26.10.2021).

- [6] Некоторые аспекты коллаборативного взаимодействия космонавтов с антропоморфными робототехническими системами для пилотируемых космических полетов / Чеботарев Ю.С., Дикарев В.А., Харламов М.М. // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2021): материалы XIV мультиконференции (Дивноморское, Геленджик, 27 сентября–2 октября 2021 г.): в 4 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2021. – Том 1. – С. 215–217.
- [7] Дикарев В.А., Чеботарев Ю.С. К проектированию компонентов коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов // Тезисы докладов Десятого Международного аэрокосмического конгресса «IAC'2021». – Секция (направление): инновации в космосе. – М.: МГУ, 2021. – С. 232–234.

REFERENCES

- [1] Chebotarev Yu.S. The Use of a Multi-purpose Robotic Complex in Benefit of the Development of Robotic-assistants to Support Cosmonauts in Space Flight // “Orbit of Youth” and Prospects for the Development of Russian Cosmonautics. Proceedings of the VI All-Russian Youth Scientific and Practical Conference – Perm, 2020. – pp. 368–370.
- [2] Some Results of Experimentation With the Anthropomorphic Robotic System in Remote Control Master-slave Mode / Sorokin V.G., Kud-Sverchikov S.V., Chebotarev Yu.S. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2019. – No 4(33). – pp. 106–121.
- [3] Features of Training Crews for the Space Experiment “Ispytatel” to Study the Possibilities of Using a Remotely Controlled Anthropomorphic Robot in Space Flight / Dmitriev V.N., Sorokin V.G., Dovzhenko V.A., Chebotarev Yu.S., Nikitov E.V. // The scientific significance of K.E. Tsiolkovsky’s investigations: history and modernity. Proceedings of the 55th Scientific Conference dedicated to the memory of K.E. Tsiolkovsky. – 2020. – pp. 173–177.
- [4] Roscosmos cosmonauts at the Army-2021 Forum. – <http://www.gctc.ru/print.php?id=5411> (published on 23.08.2021).
- [5] International Astronautical Congress. Second day. –<https://www.roscosmos.ru/33125/> (published on 26.10.2021).
- [6] Some Aspects of Collaborative Interaction Between Cosmonauts and Anthropoid Robotic Systems for Manned Space Flights / Chebotarev Yu.S., Dikarev V.A., Kharlamov M.M. // The XIV All-Russian Multiconference on Management Problems (MKPU-2021): Proceedings of the XIV Multiconference (Divnomorskoe, Gelendzhik, September 27–October 2, 2021): in 4 volumes. – Rostov-on-Don; Taganrog: Publishing house of the Southern Federal University, 2021. – Vol 1. – pp. 215–217.
- [7] Dikarev V.A., Chebotarev Yu.S. Design of Components for Collaborative Interaction Between Cosmonauts and Robotic Systems for Manned Space Flights // Abstracts of the X International Aerospace Congress “IAC’2021”. – Section: innovations in space. – Moscow: MSU, 2021. – pp. 232–234.