

УДК 004.896:629.78.007

**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,
М.В. Кондратенко, Ю.С. Агаркова

Докт. техн. наук, профессор В.А. Дикарев; А.Ю. Кикина; Ю.С. Чеботарев;
Э.В. Никитов; М.В. Кондратенко; Ю.С. Агаркова
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматривается возможность отработки совместного применения антропоморфной и манипуляционной робототехнической систем для операционной поддержки внекорабельной деятельности космонавтов, проведен анализ возможности экспериментальной отработки их коллаборативного использования применительно к роботизированному манипулятору «ERA» с антропоморфным роботом космического эксперимента «Теледроид», представлены варианты компоновок стыковки роботизированного манипулятора «ERA» к антропоморфному роботу и варианты коллаборативного взаимодействия космонавтов с антропоморфным роботом космического эксперимента «Теледроид», рассмотрен проект создания виртуальной модели робототехнического комплекса для проведения предварительных исследований возможностей и особенностей совместного применения роботизированного манипулятора и антропоморфного робота, предложена концептуальная модель коммуникационного объединения специализированного тренажера «Дон-ERA» и гидролаборатории с возможностью интеграции с универсальным компьютерным стендом робототехнических систем.

Ключевые слова: антропоморфный робот, роботизированный манипулятор, робототехнический комплекс; космический эксперимент; операционная поддержка, коллаборация, внекорабельная деятельность, Международная космическая станция, многоцелевой лабораторный модуль, российский сегмент

**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.Yu. Kikina, Yu.S. Chebotarev, E.V. Nikitov,
M.V. Kondratenko, Yu.S. Agarkova**

The paper discusses the possibilities of maturing the collaborative use of the anthropomorphic robotic system and manipulation robotic system for operational support of cosmonaut's extravehicular activity; analyzes the possibilities of experimental testing the collaborative use of these systems in relation to the ERA

robotic manipulator with the anthropomorphic robot for the “Teledroid” Space Experiment; gives the options for docking the ERA to the anthropomorphic robot and variants of interactions between cosmonauts and the anthropomorphic robot for the “Teledroid” Space Experiment; considers the project for creating the virtual model of the robotic complex for preliminary studying the possibilities and features of joint using the robotic manipulator and the anthropomorphic robot; and suggests the conceptual pattern for communication of the Don-ERA dedicated simulator and the hydrolab as regarding the possibility of integration with the universal computer stand of robotic systems.

Keywords: anthropomorphic robot, robotic manipulator, robotic complex, space experiment, operational support, collaboration, extravehicular activity, International Space Station, Multipurpose Laboratory Module, Russian Segment

Выполнение задач, направленных на обеспечение функционирования пилотируемых космических аппаратов, исследование космических тел (Луны, Марса, астероидов) на начальной стадии представляется возможным за счет использования главным образом робототехнических систем (РТС). При рассмотрении функциональных возможностей различных типов РТС возникает предложение совместного использования РТС для повышения универсальности робототехнического комплекса, уменьшения времени на выполнение задач, минимизации участия человека при выполнении задач внекорабельной деятельности (ВКД) в экстремальных условиях открытого космического пространства.

Технологии взаимодействия человека с РТС отражены и успешно апробированы в таких космических экспериментах (КЭ), как «Контур-2» [1], «Робонавт-2» [2], «Испытатель» [3], где использовались и антропоморфные, и манипуляционные роботы. Следует отметить, что в истории создания и использования РТС на российском сегменте (РС) Международной космической станции (МКС) отсутствует опыт, наработки коллаборативного [4–6] применения РТС различных типов.

Предполагаемая научная новизна подготавливаемого к бортовой реализации КЭ «Теледроид» [7] на РС МКС, направленного на исследования возможностей использования дистанционно-управляемого антропоморфного робота для операционной поддержки деятельности космонавтов в условиях орбитального полета, заключается:

– в разработке и изготовлении первого отечественного антропоморфного робота (АР), предназначенного для эксплуатации в условиях открытого космического пространства;

– в результатах исследования возможностей и особенностей интерактивного копирующего управления роботом космонавтом-оператором в условиях невесомости при помощи костюма управления (экзоскелета) с силомоментной обратной связью и тактильным очувствлением.

Для этого разрабатывается научная аппаратура КЭ «Теледроид», которая должна обеспечить управление виртуальной моделью АР в виртуальной

среде, а также дистанционное управление летным образцом АР, находящимся или внутри, или на внешней поверхности РС МКС, с автоматизированного рабочего места космонавта-оператора, расположенного на борту МКС, а также с Земли, в том числе с учетом ограничений на существующие параметры электронных и механических компонентов, а также флуктуаций задержек в контуре обратной связи. При этом предусмотрено стационарное размещение АР КЭ «Теледроид» на универсальном рабочем месте на наружной поверхности РС МКС для исследования возможностей и особенностей операционной ВКД космонавтов.

С учетом интеграции многоцелевого лабораторного модуля (МЛМ) «Наука» с РС МКС появляется возможность работы с целевыми грузами через его шлюзовую камеру с использованием роботизированного манипулятора (РМ) «European Robotic Arm» («ERA») [8, 9], в том числе и при реализации на РС МКС планируемых космических экспериментов по робототехнике (рис. 1, 2).

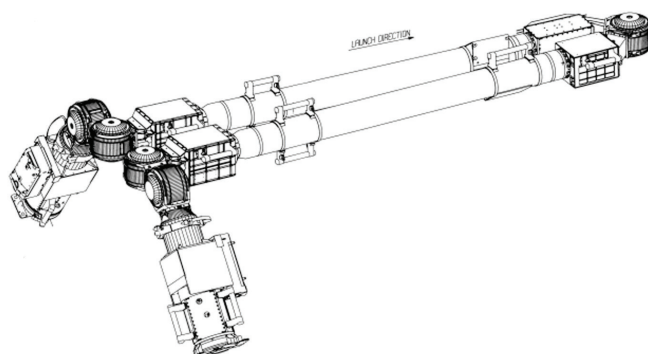


Рис. 1. Графическая модель роботизированного манипулятора «ERA»

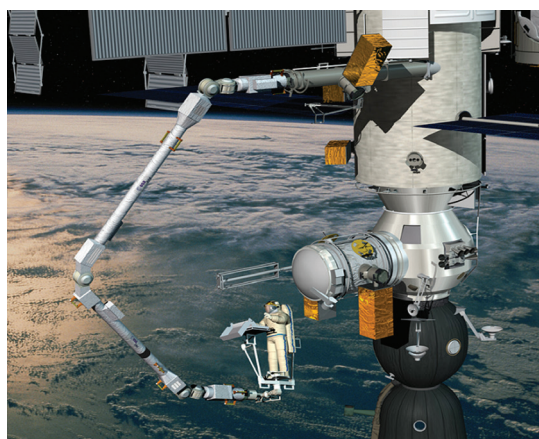


Рис. 2. 3D-модель применения роботизированного манипулятора «ERA»

С появлением роботизированного манипулятора «ERA» в составе РС МКС возникает возможность выполнения с его помощью задач по транспортировке АР КЭ «Теледроид» к месту размещения на универсальном рабочем месте на наружной поверхности модуля РС МКС. И эта задача может быть отработана в рамках концепции коммуникационного объединения специализированного тренажера «Дон-ERA» и гидролаборатории (ГЛ) ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» [10]. В такой концепции задачи по транспортировке целевых грузов на поверхности модуля МКС отработывались на специализированном тренажере «Дон-ERA», успешно выполнялись космонавтами основных и дублирующих экипажей во время их тренировок в ГЛ к предстоящей ВКД с применением РМ «ERA» и, как следствие этого, космонавты готовы к их выполнению во время ВКД на поверхности МКС.

Необходимость совместного применения АР КЭ «Теледроид» и РМ «ERA» обусловлена и тем, что в процессе выполнения космонавтами задач ВКД при операционной поддержке АР возможны ситуации, когда космонавты при работе с оборудованием на поверхности РС МКС вынуждены выходить из рабочей зоны АР, что является предпосылкой к необходимости с помощью РМ производить коррекцию местоположения АР относительно космонавтов, чтобы его рабочая зона была в области досягаемости космонавтов. Учитывая перспективность совместного применения АР и РМ в составе робототехнического комплекса для будущих пилотируемых космических полетов, в том числе на создаваемой новой российской орбитальной станции, требуется проведение предварительных исследований возможностей и особенностей его реализации. При этом следует воспользоваться заделом, который получен в рамках модели развития универсального компьютерного стенда робототехнических систем (УКС РТС) ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» и концепции коммуникационного объединения специализированного тренажера «Дон-ERA» и ГЛ [11].

Задача по перемещению с помощью РМ «ERA» закрепленного к нему АР КЭ «Теледроид» (наподобие «SAR-401», рис. 3) в зоне рабочего места для выполнения космонавтом ВКД, в рамках одновременного совместного применения АР и РМ «ERA», не отработывалась [12].

Для выполнения этой задачи необходима разработка специального дополнительного устройства для крепления и сопряжения АР КЭ «Теледроид» и РМ «ERA», а для ее отработки – расширение концепции коммуникационного объединения специализированного тренажера «Дон-ERA» и ГЛ с возможностью интеграции с УКС РТС и создание технологического макета АР, способного функционировать в гидросреде. Для обеспечения тренировок космонавтов в виртуальной среде необходима разработка виртуальной модели АР КЭ «Теледроид», сопряженной с РМ «ERA», и виртуальных сцен с соответствующим окружением.

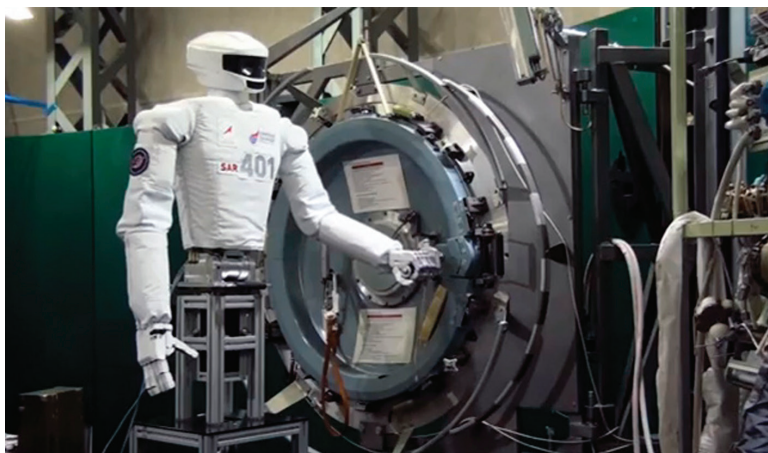


Рис. 3. Торсовый антропоморфный робот «SAR-401»

О некоторых возможностях и особенностях бортовой реализации совместного использования АР и РТ для операционной поддержки ВКД космонавтов

По предварительным данным, габариты АР КЭ «Теледроид» (до 1200 x 500 x 500 мм) [13] и позволяют разместить его в шлюзовой камере МЛМ «Наука» с целью дальнейшей транспортировки к месту проведения КЭ и хранения АР на внешней поверхности МКС, как показано на рис. 4.

На данный момент для транспортировки полезного груза с помощью РМ «ERA» предусмотрен такелажный элемент (ТЭ) с пассивным и активным устройствами фиксации (рис. 5) [14].



Рис. 4. 3D-модель шлюзовой камеры МЛМ «Наука»

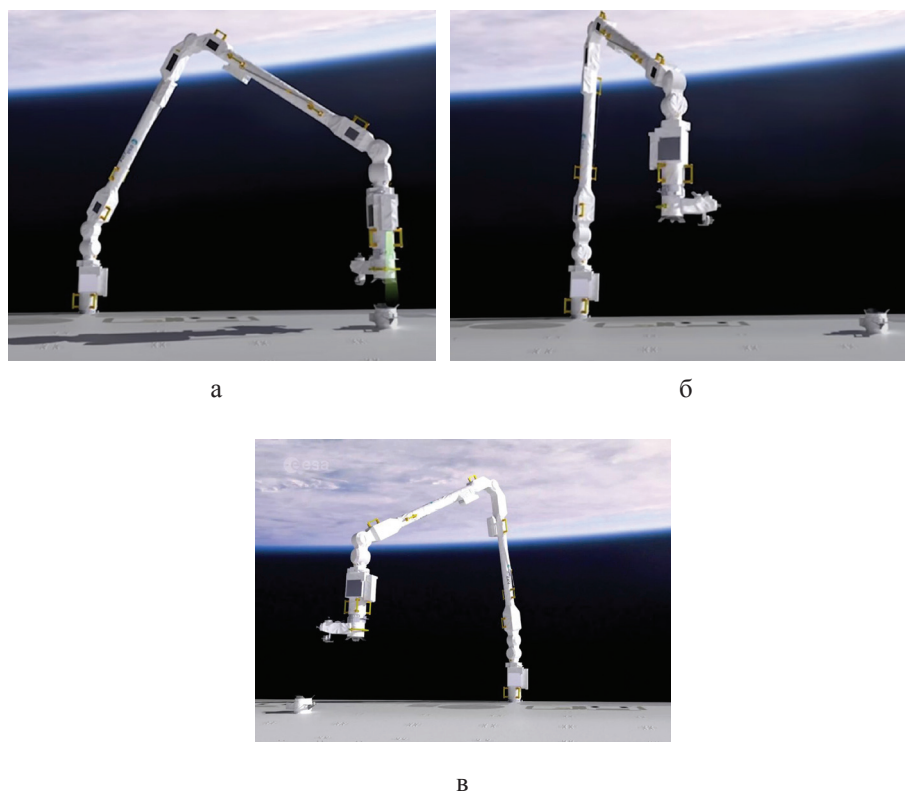


Рис. 5. 3D-модель применения такелажного элемента РМ «ERA» с ТЭ:
а – захват полезного груза, расположенного на базовой точке; *б* – перемещение полезного груза; *в* – подводка полезного груза для установки на базовой точке

Благодаря «сквозной» конструкции ТЭ, РМ «ERA» может стыковаться к базовым точкам, расположенным на определенных участках внешней поверхности МКС вместе с ТЭ, обеспечивая тем самым электрическое и информационное взаимодействие собранной конструкции с бортовой вычислительной сетью МКС. ТЭ имеет в своей конструкции 3 разъема, предназначенные для стыковки РМ «ERA» к базовым точкам на внешней поверхности МКС, обеспечивая передачу электропитания, информационных данных и видеосигнала. При использовании задела в виде уже разработанного ТЭ, предлагается рассмотреть несколько вариантов компоновки РМ «ERA» и АР КЭ «Теледроид» с элементами специального дополнительного устройства для крепления и сопряжения АР КЭ «Теледроид» с РМ «ERA», как представлено на рис. 6.

Первый и второй варианты, представленные на рис. 6 а и 6 б, предусматривают модернизацию разработанного такелажного элемента для установки его на консольной части АР КЭ «Теледроид». Преимуществами данных схем использования является возможность РМ «ERA» «перешагивать» с одной

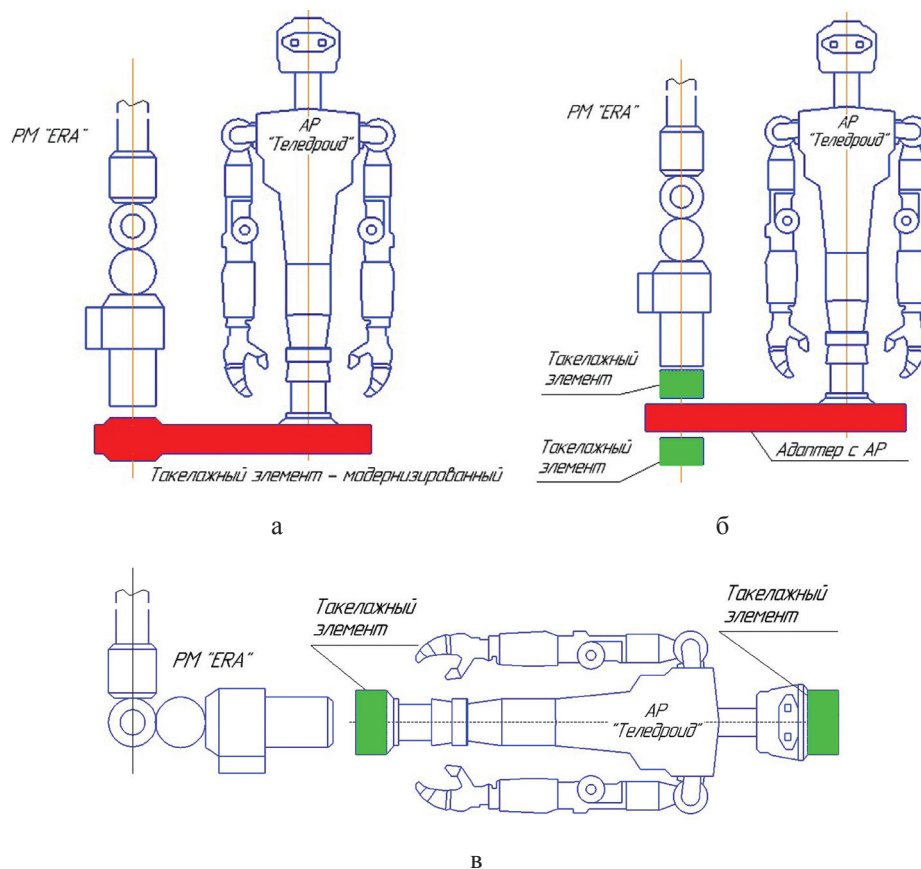


Рис. 6. Варианты компоновки стыковки PM «ERA» к AP «Теледроид»:

а – с помощью модернизированного такелажного элемента (новый элемент); *б* – с помощью двух такелажных элементов и адаптера AP (новый элемент); *в* – с помощью такелажных элементов, интегрированных в AP на стадии изготовления

базовой точки на другую вместе с AP. Недостатком данных компоновок является укорочение совмещенной конструкции за счет разворота AP в обратную сторону относительно PM (по отношению к компоновке рис. 6 б). Данный недостаток можно исключить, добавив степень свободы у модернизированного такелажного элемента – возможность поворота вокруг своей оси. При технической возможности модернизации ТЭ, данная компоновка выигрывает перед вариантом, изображенным на рис. 6 б по массово-габаритным характеристикам. Вариант второй (рис. 6 б), предусматривает сборку конструкции «ТЭ–AP–ТЭ» космонавтами до ее перемещения на внешнюю поверхность РС МКС через шлюзовую камеру МЛМ. Можно выделить недостатки данного варианта: громоздкость конструкции, увеличение веса изделия в сборе. Третий вариант компоновки (рис. 6 в) наиболее прост в реализации, за исключением сложности расчета приводов голов-

ного модуля (ГМ) АР, позволяет захватывать АР с помощью РМ «ERA» соосно с конечным звеном манипулятора за торсовую часть АР, что, вероятно, упростит манипуляции ее позиционирования в рабочей зоне. При этом будет иметься возможность установки АР головным модулем к любой из базовых точек внешней поверхности МЛМ на время бездействия. Для того, чтобы использовать АР в заданной точке (в стационарной рабочей зоне), требуется ее перемещение в ШК и захват за ГМ. Недостатком третьего варианта, является высокая вероятность выхода из строя механической части, отвечающей за стыковку головного модуля с торсовой частью из-за ударных нагрузок, возникающих при «перешагивании» РМ с одной базовой точки на другую.

Рассмотрим примерные варианты коллаборативного взаимодействия космонавтов экспедиции МКС с АР КЭ «Теледроид» и РМ «ERA» для операционной поддержки внекорабельной деятельности в табл.

Примерные варианты коллаборативного взаимодействия космонавтов экспедиции МКС с АР КЭ «Теледроид» и РМ «ERA»

| Вариант | Количество космонавтов | | Схема управления |
|---------|------------------------|------------|---|
| | для ВКД | внутри МКС | |
| 1 | 2 | 2 | Первый космонавт-оператор внутри МКС управляет АР КЭ «Теледроид»; второй космонавт-оператор внутри МКС управляет РМ «ERA» |
| 2 | 2 | 1 | Космонавт-оператор внутри МКС управляет АР КЭ «Теледроид»; космонавт-оператор ВКД управляет РМ «ERA» с помощью внешнего пульта управления |
| 3 | 2 | 1 | Космонавт-оператор внутри МКС управляет АР КЭ «Теледроид», а также с помощью голосового управления производит управление РМ «ERA» |
| 4 | 2 | 1 | Космонавт-оператор внутри МКС управляет АР КЭ «Теледроид»; один из космонавтов, осуществляющих ВКД на поверхности МКС с помощью голосового управления, производит корректировку положения РМ «ERA» с закрепленным к нему АР |

В 1-м варианте экипаж из четырех российских космонавтов распределяет задачи следующим образом: два космонавта осуществляют ВКД, двое космонавтов внутри МКС ассистируют данный выход. Первый космонавт внутри МКС управляет АР КЭ «Теледроид», второй – управляет РМ «ERA». Данный вариант выигрывает по надежности управления робототехническими системами, оптимальной загрузке космонавтов, работающих в коллаборации по выполнению единой задачи. Очевидным недостатком 1-го варианта является необходимость участия четырех членов экипажа с российской стороны, что при нынешней схеме полетов на пилотируемом транспортном корабле серии «Союз» является возможным только во время ротации

экипажей. Второй вариант предполагает задействование одного из космонавтов, осуществляющих ВКД, в управлении РМ. Таким образом, уменьшается количество членов экипажа, минимально необходимых для осуществления данного режима работы, но на внешней поверхности МКС уменьшается число космонавтов, активно работающих с научным и другим оборудованием. Третий вариант предполагает, как и во 2-м варианте, задействование троих космонавтов, двое из которых осуществляют ВКД. Третий космонавт, находясь внутри МКС, управляет АР в копирующем режиме, а также РМ «ERA», но с помощью голосовых команд. К преимуществам 3-го варианта можно отнести предоставление полного контроля и информационного обеспечения процессом обеих РТС одному космонавту (находящемуся внутри МКС), что снижает вероятность рассогласования действий двух роботов за счет неминуемо дискретной работы РТС. Это является и недостатком – в таком случае невозможно одному оператору одновременно управлять двумя роботами, а также необходимо организовать интерфейс переключения работы с одной РТС на другую. Также требуется доработка программного обеспечения РМ «ERA» для обеспечения возможности управления РМ с помощью голоса. В 4-м варианте предлагается усовершенствованная версия 2-го варианта, когда космонавт-оператор ВКД управляет РМ «ERA» не с помощью внешнего пульта управления, а с помощью выдачи голосовых команд. Очевидным достоинством данного способа является возможность космонавта-оператора ВКД одновременно выполнять целевую работу и оперативно корректировать положение АР КЭ «Теледроид» для совмещенной с ним деятельности. Недостатками такого варианта коллаборативной работы являются высокие требования к подготовке и реализации сложной операторской деятельности космонавта-оператора ВКД, необходимость проработки интерфейса голосового управления РМ «ERA» и системы визуализации его положения, вероятно, реализованной на отдельном экране на внутренней поверхности иллюминатора шлема, где отображается изображение от видеокамеры РМ «ERA».

О создании виртуальной модели робототехнического комплекса «антропоморфный робот – роботизированный манипулятор»

Для проведения предварительных исследований возможностей и особенностей совместного применения РМ и АР может быть рассмотрен совместный проект научно-исследовательской лаборатории робототехнических и интеллектуальных систем для пилотируемых полетов в космос, управления подготовки космонавтов и управления экстремальных тренировок по созданию виртуальной модели робототехнического комплекса «антропоморфный робот – роботизированный манипулятор» (РТК «АР – РМ») с участием разработчиков УКС РТС и специализированного тренажера «Дон-ERA».

Виртуальная модель РТК «АР – РМ» в УКС РТС может быть использована для предварительного исследования возможных проблем коллаборативного взаимодействия АР и РМ с космонавтами, с точки зрения:

- разделения функций между РТК «АР – РМ» и космонавтами по задачам, по способам управления РТС, по действиям в штатных и нештатных (НшС);
- определения необходимого и достаточного уровня бигеминальности (степени попарной связанности) элементов РТК «АР – РМ» для обеспечения коллаборации;
- адаптации космонавтов и РТК «АР – РМ» (восприятие сигналов, эргономическая совместимость, управление с помощью задающих устройств и т.д.);
- определения границ применения РТК «АР – РМ»;
- определения рациональных способов управления РТК «АР – РМ»;
- организации взаимодействия космонавтов и РТК «АР – РМ» в рамках выполнения перспективных пилотируемых космических программ;
- формирования коммуникационной сферы – создания совокупностей условий совместного функционирования космонавтов и РТК «АР – РМ»;
- уточнения состава полетных операций с поддержкой РТК «АР – РМ»;
- отработки способов и методик выполнения полетных операций космонавтами с поддержкой РТК «АР – РМ»;
- разработки аппаратных, алгоритмических и программных решений создания средств «общения» космонавтов и РТК «АР – РМ»;
- разработки методов оценивания эффективности применения РТК «АР – РМ»;
- обеспечения безопасного взаимодействия космонавтов и РТК «АР – РМ».

Виртуальная модель РТК «АР – РМ» в рамках концепции коммуникационного объединения специализированного тренажера «Дон-ERA» и ГЛ может в будущем способствовать верификации и уточнению полученных на УКС РТС результатов предварительного исследования возможных проблем коллаборативного взаимодействия АР и РМ с космонавтами.

Совместное использование УКС РТС и специализированного тренажера «Дон-ERA» позволит в рамках предварительного проектирования робототехнического комплекса «АР – РМ» на основе применения разработанной виртуальной модели РТК «АР – РМ» определить, в частности, требования к интерфейсу, к задающим и исполнительным устройствам, к устройствам сопряжения элементов этого робототехнического комплекса и средствам информационной поддержки для его применения.

Очевидно, что в дальнейшем созданная виртуальная модель РТК «АР – РМ» может быть использована в УКС РТС в процессе подготовки космонавтов, в том числе для оценки функционального состояния космонавтов и возможности выполнения ими операций по управлению робототехническим комплексом «АР – РМ».

Об использовании УКС РТС для наземной подготовки и бортовой реализации КЭ «Теледроид» с применением РМ «ERA»

Значимым дополнением для достижения достоверности и чистоты оценок функционального состояния космонавтов в процессе управления РТК «АР – РМ» может являться получение фоновых экспериментальных данных во время выполнения длительных пилотируемых космических полетов в составе экипажей экспедиций на МКС. Вышерассмотренные предложения не учитывают проведение таких экспериментов во время длительных пилотируемых космических полетов на МКС.

Такая возможность потенциально будет иметь место при бортовой реализации на МКС этапов КЭ «Теледроид» [11], а именно:

- управление виртуальной моделью АР с использованием опытного образца задающего устройства копирующего типа (ЗУКТ) для автономных испытаний;

- управление физическим образцом АР.

Потенциально по каждому этапу КЭ «Теледроид», с учетом сложившихся периодов нахождения экспедиций на МКС, будут участвовать в подготовке к его бортовой реализации по два экипажа (в составе экипажа как минимум два космонавта из отряда космонавтов ГК «Роскосмос»). В совокупности в бортовой реализации КЭ «Теледроид» примут участие минимум шесть космонавтов из отряда космонавтов ГК «Роскосмос».

В рамках выполнения каждого этапа КЭ «Теледроид» потенциально возможно получить фоновые экспериментальные данные для оценки функционального состояния космонавтов и возможности выполнения ими операций:

- до выполнения космонавтами длительных пилотируемых космических полетов в процессе наземной подготовки космонавтов основного и дублирующего экипажей МКС к бортовой реализации КЭ (минимум от шести космонавтов, с учетом того, что дублирующий экипаж для последующей экспедиции становится основным);

- во время выполнения космонавтами длительных пилотируемых космических полетов в процессе бортовой реализации КЭ (минимум от четырех космонавтов);

- после выполнения космонавтами длительных пилотируемых космических полетов в процессе повторных операций, ранее выполненных в процессе наземной подготовки и бортовой реализации КЭ (минимум от четырех космонавтов).

Для подготовки и проведения КЭ «Теледроид» в УКС РТС следует использовать:

- виртуальную модель АР и прототип опытного образца ЗУКТ;
- физический прототип летного образца АР и ЗУКТ.

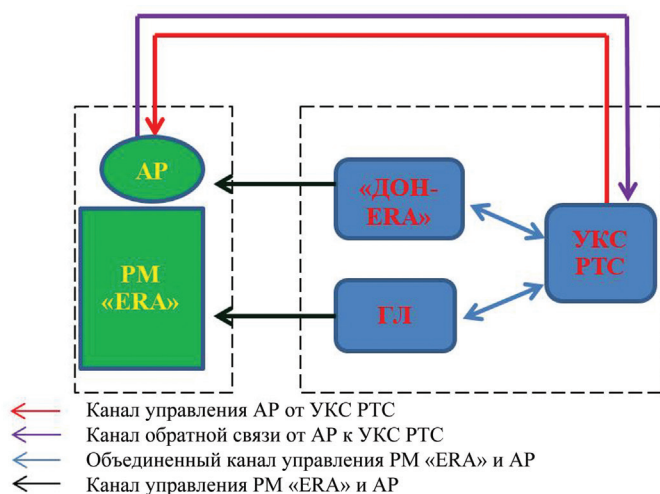


Рис. 7. Схема коммуникационного объединения «Дон-ERA» и ГЛ с возможностью интеграции с УКС РТС

Предлагается концептуальная модель коммуникационного объединения специализированного тренажера «Дон-ERA» и гидролаборатории с возможностью интеграции с универсальным компьютерным стендом робототехнических систем (рис. 7).

В рамках предлагаемой концептуальной модели возможны два варианта организации контура управления. Первый вариант предусматривает управление РТК «АР – РМ» одним космонавтом-оператором, который должен быть обеспечен одновременно как средствами управления РМ, так и ЗУКТ для управления АР с возможностью оперативного переключения между ними, например, путем голосового управления. При этом объединенный канал управления использовал бы техническое зрение АР. Таким образом, космонавт-оператор самостоятельно мог бы переместить АР в рабочую зону, а после этого, перейдя в копирующий режим, смог бы управлять АР. Данный вариант имеет преимущество с точки зрения высвобождения космонавтов от операторской деятельности, однако технически сложно реализуем ввиду загруженности сети Ethernet РС МКС и разницы в вычислительных базах, применяемых на РМ и на АР. Второй вариант предусматривает управление РТК «АР – РМ» двумя космонавтами-операторами. Один из них управляет РМ, используя ее системы визуализации, а второй управляет АР и по голосовому каналу дает указания оператору РМ для более точного позиционирования АР в рабочей зоне. Этот вариант технически более прост в реализации, однако требователен к качеству подготовки операторов с точки зрения их психологической и операторской совместимости.

В качестве примера совместной операторской деятельности можно рассмотреть возможности УКС РТС для РТК «АР – ровер» [11]. В первом случае

два опытных и понимающих друг друга оператора успешно выполняют комплексную задачу по перемещению АР в рабочую зону и выполнению персонализируемых операций АР. Во втором случае операторы, имеющие опыт управления АР, и операторы, имеющие опыт управления виртуальными средствами перемещения, но не имеющие опыта слаженной совместной работы, не могут выполнить задачу, либо затрачивают на ее выполнение значительное время.

Выводы

Применение роботизированного манипулятора «ERA» в рамках космического эксперимента «Теледроид» расширяет спектр исследования возможностей использования дистанционно-управляемого антропоморфного робота для операционной поддержки деятельности космонавтов в условиях орбитального полета. Эти исследования могут послужить научно-экспериментальным заделом по созданию технологии операционной поддержки внекорабельной деятельности космонавтов на борту орбитальной станции с помощью телеуправляемого антропоморфного робота совместно с роботизированным манипулятором «ERA».

С учетом отсутствия отечественного опыта создания и коллаборативного использования робототехнических систем различных типов для пилотируемых космических аппаратов, проработка и реализация данного направления представляется актуальной. В отечественной космонавтике наработан некоторый опыт взаимодействия человека с робототехническими системами в реальных космических полетах с отработкой технологий, способствующих совершенствованию контура управления и увеличению надежности их использования в дальнейшей перспективе.

Задача по перемещению роботизированным манипулятором «ERA» закрепленного к нему антропоморфного робота космического эксперимента «Теледроид» в зоне рабочего места выполнения космонавтом внекорабельной деятельности в рамках одновременного совместного применения роботизированного манипулятора «ERA» и антропоморфного робота до настоящего времени не отработывалась. Для выполнения этой задачи необходимо специальное дополнительное устройство, к которому сможет крепиться и сопрягаться роботизированный манипулятор «ERA», и антропоморфный робот космического эксперимента «Теледроид», а для ее отработки – расширение концепции коммуникационного объединения специализированного тренажера «Дон-ERA» и гидролаборатории с возможностью интеграции с универсальным компьютерным стендом робототехнических систем.

Предложены варианты компоновки роботизированного манипулятора «ERA» к антропоморфному роботу космического эксперимента «Теледроид» с учетом создания специального дополнительного устройства для их крепления и сопряжения. Рассмотрены примерные варианты коллаборативного взаимодействия космонавтов экспедиции МКС с антропоморфным роботом

космического эксперимента «Теледроид» и роботизированным манипулятором «ERA» для операционной поддержки внекорабельной деятельности.

Также предложено создание виртуальной модели робототехнического комплекса тренажеров по образу соответствующих тренажеров и стендов ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Исследование и анализ изложенных в статье подходов о совместном использовании антропоморфной и манипуляционной робототехнической системы, экспериментальной отработки их коллаборативного применения (в рамках потенциально возможной интеграции роботизированного манипулятора «ERA» с антропоморфным роботом космического эксперимента «Теледроид») представляет интерес для дальнейшего развития и применения в перспективных космических программах.

Предложены направления предварительного исследования возможных проблем коллаборативного взаимодействия космонавтов с антропоморфным роботом и роботизированным манипулятором с использованием виртуальной модели робототехнического комплекса «антропоморфный робот – роботизированный манипулятор» в универсальном компьютерном стенде робототехнических систем.

Рассмотрено использование виртуальной модели и физического прототипа летного образца антропоморфного робота в универсальном компьютерном стенде робототехнических систем для наземной подготовки и бортовой реализации космического эксперимента «Теледроид» с применением роботизированного манипулятора «ERA». Также предложена концептуальная модель коммуникационного объединения специализированного тренажера «Дон-ERA» и гидролаборатории с возможностью интеграции с универсальным компьютерным стендом робототехнических систем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Эксперименты: Контур-2 // Центральный научно-исследовательский институт машиностроения: [сайт]. – URL: https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/kontur_2/ (дата обращения 27.12.2021).
- [2] Эксперименты: Робонавт // Центральный научно-исследовательский институт машиностроения: [сайт]. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/robonavt/> (дата обращения 27.12.2021).
- [3] Эксперименты: Испытатель // Центральный научно-исследовательский институт машиностроения: [сайт]. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/ispysatel/> (дата обращения 27.12.2021).
- [4] Дикарев В.А. К проектированию компонентов коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов / В.А. Дикарев, Ю.С. Чеботарев // Пленарные и избранные доклады Десятого Международного Аэрокосмического Конгресса «IAC'2021» (26–31 августа 2021 г.). – М.: РИА, 2021. – С. 253–258.
- [5] Некоторые аспекты коллаборативного взаимодействия космонавтов с антропоморфными робототехническими системами для пилотируемых космических полетов / Ю.С. Чеботарев, В.А. Дикарев, М.М. Харламов // XIV Всероссийская

- мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2021): материалы XIV мультиконференции (Дивноморское, Геленджик, 27 сентября – 2 октября 2021 г.): в 4 т. / Южный федеральный университет [редкол.: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов и др.]. – Ростов-н/Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2021. – Том 1. – С. 215–217.
- [6] Чеботарев Ю.С. О некоторых направлениях обеспечения коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов / Ю.С. Чеботарев, В.А. Дикарев // Труды Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» – Proceedings of the International Scientific and technological Conference «Extreme Robotics». – 2021. – С. 65–77.
- [7] Эксперименты: Теледроид. – Текст: электронный // Центральный научно-исследовательский институт машиностроения: [сайт]. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (дата обращения 27.12.2021).
- [8] Многоцелевой лабораторный модуль «Наука». – Текст: электронный // Роскосмос: [сайт]. – URL: <https://www.roscosmos.ru/31395/> (дата обращения 30.12.2021).
- [9] Белоножко П.П. Космическая робототехника. Современное состояние, перспективные задачи, тенденции развития. Аналитический обзор / П.П. Белоножко // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. – 2016. – № 12. – С. 110–153.
- [10] Специализированный тренажер «Дон-ЕРА». – Текст: электронный // Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина: [сайт]. – URL: <http://www.gctc.ru/main.php?id=2892> (дата обращения 11.01.2021).
- [11] Предпосылки и результаты модернизации универсального компьютерного стенда робототехнических систем / В.А. Дикарев, В.А. Довженко, Э.В. Никитов [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 4(41). – С. 36–47.
- [12] SAR-401 – первый российский робот-астронавт. – URL: <https://uchebana5.ru/images/1097/2192891/m28e469d0.png> (дата обращения 29.01.2022).
- [13] Роскосмос представил прототип антропоморфного робота «Теледроид». – Текст: электронный // Роскосмос: [сайт]. – URL: <https://www.roscosmos.ru/34072/> (дата обращения 07.02.2022).
- [14] Посмотрите, как 11-метровый робот-манипулятор готовили к запуску в космос. – Текст: электронный // журнал Яндекс Практикума. Код. – URL: <https://thecode.media/era/> (дата обращения 29.01.2022).

REFERENCES

- [1] Experiment: Kontur-2. Central Research Institute of Mechanical Engineering. URL: https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/kontur_2/ (accessed on 27.12.2021).
- [2] Experiment: Robonaut. Central Research Institute of Mechanical Engineering. URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/robonavt/> (accessed on 27.12.2021).
- [3] Experiment: Ispytatel. Central Research Institute of Mechanical Engineering. URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/ispytatel/> (accessed on 27.12.2021).

- [4] Dikarev V.A., Chebotarev Yu.S. Developing the Collaborative Interaction Between Cosmonauts and Robotic Systems for Manned Space Flights. Plenary and Selected Reports of the 10th International Aerospace Congress “IAC’2021” (August 26–31, 2021). Moscow: RIA, 2021, pp. 253–258.
- [5] Chebotarev Yu.S., Dikarev V.A., Kharlamov M.M. Some Aspects of Collaborative Interaction Between Cosmonauts and Anthropomorphic Robotic Systems for Manned Space Flights. XIV All-Russian Multi-Conference on Management Problems (MKPU-2021): Proceedings of the XIV Multi-Conference (Divnomorskoe, Gelendzhik, September 27 – October 2, 2021): in 4 Vol-s. South Federal University [editorial board: I.A. Kalyaev, V.G. Peshekhonov et al.]. Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University Press, 2021, Vol. 1, pp. 215–217.
- [6] Chebotarev Yu.S., Dikarev V.A. About Some Directions of Providing Collaborative Interaction Between Cosmonauts and Robotic Systems for Manned Space Flights, Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Extreme Robotics”, 2021, pp. 65–77.
- [7] Experiment: Teledroid. Central Research Institute of Mechanical Engineering. URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (accessed on 27.12.2021).
- [8] “Nauka” Multipurpose Laboratory Module. URL: <https://www.roscosmos.ru/31395/> (accessed on 30.12.2021).
- [9] Belonozhko P.P. Space robotics: Current Status, Long-Term Objectives, and Development Trends. Analytical Review, Science and Education. Bauman MSTU, E-journal, 2016, No 12, pp. 110–153.
- [10] Don-ERA Dedicated Simulator. Yu.A. Gagarin Research and Testing Cosmonaut Training Center. URL: <http://www.getc.ru/main.php?id=2892> (accessed on 11.01.2021).
- [11] Dikarev V.A., Dovzhenko V.A., Nikitov E.V., Chebotarev Yu.S. Motivation and Results of Modernization of Multipurpose Computer-Aided Simulator of Robotic Systems, Scientific Journal “Manned Spaceflight”, 2021, No 4(41), pp 36–47.
- [12] SAR-401. The first Russian robot-astronaut: <https://uchebana5.ru/images/1097/2192891/m28e469d0.png> (Accessed 29.01.2022).
- [13] Roscosmos Has Presented the Prototype of “Teledroid” Anthropomorphic Robot: <https://www.roscosmos.ru/34072/> (accessed on 07.02.2022).
- [14] Take a Look at How the 11-meter Robotic Arm was Being Prepared for Launch into Space, Yandex Practicum Journal. Code. URL: <https://thecode.media/era/> (accessed on 29.01.2022).