

СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ НА МОДЕЛИРУЮЩИХ СТЕНДАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОВ В ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТАХ

М.В. Михайлюк, А.В. Мальцев, П.Ю. Тимохин, Е.В. Страшнов,
Б.И. Крючков, В.М. Усов

Докт. физ.-мат. наук, профессор М.В. Михайлюк; А.В. Мальцев;
П.Ю. Тимохин; Е.В. Страшнов (ФГУ ФГЦ «НИИСИ РАН»)
Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. мед. наук, профессор В.М. Усов
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматривается компьютерное прототипирование в составе моделирующих стендов и космических тренажеров для перспективных проектов пилотируемой космонавтики с использованием роботов, а также особенности применения систем виртуального окружения (СВО) для этой цели. В статье описана постановка исследовательских задач на основе полунатурных стендов и имитационных систем с использованием СВО при моделировании деятельности космонавтов, основываясь на опыте построения имитационных стендов и видеотренажеров для выполнения орбитальных полетов. В дальнейшем предполагается выполнить обоснование состава и назначение модулей СВО для лунных проектов и уточнить применение технологий виртуальной реальности при моделировании роботизированных операций при освоении Луны человеком.

Ключевые слова: освоение человеком Луны, VR – прототипирование в наземных условиях, система виртуального окружения (СВО), комплексы моделирования взаимодействия человека и робота в экстремальной среде.

Virtual Environment Systems for Simulating Robots in Manned Space Flights. M.V. Mikhailyuk, A.V. Maltsev, P.Yu. Timokhin, E.V. Strashnov, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov

The article considers computer-based prototyping as part of simulation stands and space simulators for future human-robotic space exploration, as well as features of using virtual environment systems (VES) for this purpose. The article describes the formulation of research tasks related to the use of VES-based simulation stands and systems in modeling the cosmonauts' activities relying on the experience of designing orbital simulators. In prospect it will justify the composition and purpose of the VES modules for lunar projects and clarify the use of VR-technologies in the simulation of robotic operations during human exploration of the moon.

Keywords: human exploration of the moon, ground-based prototyping of virtual environment, virtual environment system (VES), complexes for simulating human-robot interaction in extreme environments.

Разработка проектов освоения Луны и рациональных способов решения конкретных задач в ходе запланированных миссий предполагает предварительное проведение экспериментов и испытаний в наземных условиях, и в этом отношении большую роль играют моделирующие комплексы, позволяющие воспроизвести состав сложной деятельности космонавтов и сопутствующие условия реализации. От качества имитации условий деятельности человека в экстремальной (опасной) внешней среде, выявления возможных нарушений состояния и поведения человека в непривычной и не освоенной ранее обстановке (прежде всего, в отношении ориентировки в пространстве, опознания объектов и их идентификации и др.), зависит, в конечном итоге, достоверность прогноза успешности миссий в плане готовности человека противостоять новым вызовам. В частности, такая ситуация складывается применительно к проектам освоения Луны с включением в программу миссий режимов напланетной деятельности, при реализации которых негативное влияние на выполнение задач внекорабельной деятельности (ВнеКД) могут оказать измененная гравитация, работа в специальном защитном снаряжении (в скафандре), сниженная информационная поддержка автономного пребывания вдали от Земли и др.

При этом указанные неблагоприятные факторы в полной мере чрезвычайно трудно воспроизвести на полноразмерных моделях натурального моделирования на Земле. Поэтому применительно к проектам освоения Луны как перспективный вариант прототипирования может рассматриваться вариант моделирования отдельных видов операторской деятельности и наиболее значимых факторов на полунатурных стендах и тренажерах. Важнейшая роль в плане достижения психологического подобия моделей деятельности человека-оператора (ЧО) отводится при этом методам электронного прототипирования с использованием систем визуализации обстановки в рабочей среде на основе технологий виртуальной реальности (ВР) [1].

О продуктивности подхода, основанного на визуализации синтезируемой с помощью компьютеров среды, свидетельствует успешная практика использования при подготовке космонавтов видеотренажеров, в том числе, бортовых тренажеров (например, стыковки ПКА) [2, 3].

Для планирования дальнейших шагов в этом направлении необходимо понимание текущего уровня технологий виртуального прототипирования и анализа достигаемого эффекта в контексте организации комплексного эксперимента (или испытания) в целом. В этой связи актуально обобщение практики разработки технических средств подготовки космонавтов и опубликованных материалов по ряду взаимосвязанных вопросов. В их числе можно указать следующие: на какой стадии развития находятся программные комплексы для систем виртуального окружения (СВО), насколько проработаны теория и методология проведения эргономических и психофизиологических экспериментов на этой основе, какие имеются примеры успешной апробации тех или иных решений в данной области, чтобы активно их

развивать применительно к проектам освоения Луны, какие программные модули СВО способны эти свойства реализовать на современном уровне цифрового моделирования [3–11].

С учетом того, что в настоящее время акцент сделан на поисковые экспериментальные исследования в области способов освоения человеком Луны с использованием робототехнических систем (РТС), в данной статье преследуется цель показать, какие конкретно направления внедрения СВО могут рассматриваться как приоритетные, исходя из наработанного опыта в области применения технологий виртуальной реальности в пилотируемой космонавтике.

Исходя из этих посылок, предполагается выполнить анализ состояния вопроса по трем направлениям применения СВО при прототипировании сложных систем «человек–техника»: 1) примеры реализации систем визуализации, демонстрирующие основные идеи СВО, используемые при синтезе и отображении на мониторе модели виртуального объекта; 2) методология синтеза сложных визуальных сцен (картин) с выделением тех характеристик, за счет которых достигается улучшение изображения, и указанием, на какие механизмы восприятия они ориентированы; 3) современные подходы к применению пространственно ориентированных технологий при моделировании и изучении функционирования сложных систем «человек–техника» применительно к полетным операциям с использованием роботов, что отвечает востребованности этих технологий специалистами в области исследования проблем человеческого фактора в пилотируемой космонавтике.

Представляется первая статья из планируемой серии обзоров, которая обобщает наработанный ранее опыт применения СВО, преимущественно в ходе подготовки и выполнения орбитальных полетов на МКС.

Применение моделей виртуальной реальности в системе подготовки космонавтов

1. Моделирование элементов внутрикорабельной деятельности космонавтов с использованием СВО

1.1 Применение СВО на тренажерах и моделирующих комплексах для имитации выполнения роботизированных полетных операций внутрикорабельной деятельности на МКС

На космических тренажерах и автоматизированных обучающих комплексах в системе технических средств подготовки космонавтов применение имитаторов с использованием технологий виртуальной реальности отвечает потребностям повседневной практики [2, 4].

На основе компьютерного 3D-моделирования разрабатывались интерьеры пилотируемых космических аппаратов (ПКА) и электронное представление приборов бортовых систем, что не только снизило экономические затраты, но позволило гибко настраивать технические средства подготовки под

новые программы подготовки, изменяющиеся условия программы предстоящего полета.

Общее представление о тенденциях в этой области применения СВО дают интернет-ресурсы, содержащие 3D-модели пилотируемых космических аппаратов (ПКА) и, в частности, интерьеров отсеков РС МКС (рис. 1) [12, 15].

В плане методологии подготовки операторов сложных эргатических систем этот уровень моделирования на основе виртуальной реальности (ВР) пригоден для формирования начальных представлений обучаемых об общей конструкции станции, интерьере ее отдельных сегментов и модулей, что реализуется средствами интерфейса на основе «визуального следования» за виртуальной видеокамерой по заранее предустановленным маршрутам перемещения по станции, которые могут сопровождаться речевыми комментариями, а в более развитом варианте обучающего эксперимента – приемами дополненной реальности (ДР) с отображением назначения конкретных объектов и способов взаимодействия с ними.

В этом случае могут использоваться экранные управляющие элементы по технологии ДР.

Показательные примеры дает 3D-панорама восьми модулей МКС, которую ЕКА выложило на своем сайте [13], а также «экскурсия по МКС», размещенная в блоге космонавтов на сайте Роскосмоса [14].



Рис. 1. Интерьер отсека: 3D-модель служебного модуля РС МКС (воспроизводится по [12, 15])

Моделирование интерьера модулей российского сегмента МКС также применялось в бортовых тренажерах для изучения этой сложной конструкции и расположения в ней в разных отсеках оборудования и грузов, что, в частности, необходимо при отработке действий экипажа при обнаружении и ликвидации последствий развития нештатной ситуации [16].

С точки зрения требований к СВО необходимо различать информационную поддержку разных интерактивных режимов: «следования за видеокamerой» по жестко запрограммированному маршруту движения и управления направлением взгляда (с помощью шлема ВР и встроенной в него системы трекинга), что может сопровождаться дополнительным требованием многопортового отображения наблюдаемой сцены с разных проекций. Второй режим визуализации, несомненно, более информативен, так как позволяет лучше уяснить расположение объектов в пространстве и улучшить передачу 2D- и/или 3D-визуальной сцены.

Моделирование интерьера и рабочих мест членов экипажа входит составной частью в эргономические проекты для оценки соответствия размещения и конфигурации рабочих мест операторов требованиям нормативных документов по критериям антропометрии. Такая информация полезна при использовании сервисных роботов внутри рабочего пространства гермообъекта с точки зрения оценки безопасности совместного выполнения рабочих операций космонавтом и антропоморфным роботом, учитывая стесненность и загромождение служебных и жилых отсеков [17].

В этом случае в рассмотрение вводятся параметры досягаемости и обзорности на рабочих местах с использованием 3D-моделей человека при размещении в различных исходных позах на рабочих местах. Речь идет о реконструируемых многосвязных 3D-объектах с несколькими сочленениями.

В данном случае тесно переплетаются вопросы обитаемости гермообъекта, безопасности жизнедеятельности и промышленного дизайна, что характерно для эргономического проектирования. Некоторые дизайнерские проблемы применения виртуальной реальности освещены в работе [18].

Перечисленные вопросы должны рассматриваться в комплексе с определением состава совместно выполняемых космонавтом и сервисным роботом-помощником операций, что составляет важную часть экспериментальной проработки вопросов исследования психофизиологических возможностей человека при работе в экстремальной среде [19].

1.2 Применение СВО на тренажерах и моделирующих комплексах для имитации отображения инструментальной информации в ходе выполнения динамических полетных операций

С большой вероятностью при выполнении лунных миссий в числе задач космонавтов будут представлены операции с контролем выполнения динамических режимов и функционирования бортовой аппаратуры, в том числе, когда к выполнению этой функции будут привлекаться сервисные роботы, оснащенные системами технического зрения (СТЗ) и средствами коммуни-

кации с экипажем. Это означает, что в числе требований к СВО должны фигурировать возможности воспроизведения инструментальной информационной среды, в которой работает экипаж при выполнении этой части программы полета.

В настоящей статье представляется целесообразным использовать для характеристики организации рабочего пространства управляемого объекта с информационными панелями и приборами понятие «антропоцентрический объект» [20].

Согласно приведенному в цитируемой работе определению, «антропоцентрический объект» представляет собой реальную физическую оболочку с искусственной средой обитания человека, с бортовыми измерительными и исполнительными системами, развитой цифровой вычислительной системой с реализованными в ней алгоритмами, кабиной, содержащей информационно-управляющее поле, органы управления и систему отображения информации (СОИ). Экипаж в таком объекте позиционирует себя в эгоцентрической системе координат, связанной с рабочим местом внутри аппарата, а СОИ позволяет сформировать информационную модель для управления перемещением объекта в пространстве.

Моделирование антропоцентрического объекта представляет собой сложную задачу, поскольку необходимо не только воспроизвести интерьер рабочего пространства, но и наблюдаемую внешнюю среду, картина которой должна быть синхронизирована с показаниями приборов или синтезированными кадрами внешней визуальной обстановки.

В таких эргатических объектах важнейшая роль отводится СОИ, что находит отражение в акцентированном внимании к моделированию именно этого элемента системы информационного обеспечения операторской деятельности. В этом отношении в числе требований к СВО выступает обеспечение высокой степенью достоверности и детализации воспроизведения всех наблюдаемых элементов в реальном масштабе времени [3].

Если приборное поле составлено из нескольких однотипных приборов и индикаторов, то их функционирование должно в точности соответствовать пространственному перемещению управляемого антропоцентрического объекта. На этом базируется метод обучения оператора ведению пространственной ориентировки в полете. Особенно важно строго выдерживать такой способ визуализации, если одновременно оператору предъявляется и приборная (инструментальная) информация, и вид из кабины через остекление иллюминаторов (чем достигается синхронизация зрительно контролируемых событий из разных источников видеоданных). Другими словами, наиболее сильные стороны использования СВО проявляются в ситуации одновременного отображения внутрикабинной и внекабинной обстановки.

На рис. 2. представлен один из приборов на рабочем месте космонавта, предназначенный для информационного обеспечения выполнения динамических операций.

космонавтов при пилотировании лунного ровера по местности со сложным рельефом поверхности Луны [25]. В этом случае ЧО осуществляет управление динамическим объектом на основе контроля внешней визуальной обстановки из кабины лунохода, и в зависимости от направления и скорости движения отображается синтезированный участок обозреваемой местности.

В определенной степени визуальный контроль местности, по которой перемещается луноход, может быть отработан на виртуальных макетах местности, что важно с точки зрения изучения рельефа местности и карты высот по тому маршруту, который планируется к прохождению на лунном ровере. Другими словами, эта часть требований к СВО примыкает к тем, которые выдвигаются к панорамным представлениям рабочей среды.

Для этого специалистами ИМБП РАН совместно с МГУ имени М.В. Ломоносова отработана методика исследования качества операторской деятельности с макетированием интерьера рабочего места и органов управления в физическом исполнении, а визуальная картина, наблюдаемая оператором по ходу движения пилотируемого лунохода, синтезируется с помощью компьютера [26].

Эти работы продолжаются в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина на моделирующих стендах на базе центрифуги [27]. В дальнейшем планируется воспроизвести этот подход на моделях, пригодных к реализации в КЭ на борту МКС по дистанционному управлению напланетным ровером [28]. Управление луноходом планируется производить с помощью шлема виртуальной реальности и специального джойстика. Движением джойстика оператор будет управлять передвижением лунохода и его манипуляторами, поворотом головы в шлеме – вращением видеокамер лунохода [2].

Ранее аналогичные предложения по использованию СВО для реализации на МКС КЭ по моделированию дистанционного управления мобильными роботами космонавтом, находящегося на орбите Луны, были разработаны ЦНИИ РТК в плане развития КЭ «Контур-2» [30].

Применительно к дистанционному управлению беспилотным лунным мобильным роботом эту имитационную модель, возможно, необходимо дополнить отображением инструментальной информации об удаленности цели, навигационных ориентирах (по обновляемой электронной карте местности), показаниями абсолютной скорости перемещения по поверхности и относительной при сближении с другим мобильным объектом и расхода энергетических запасов и др.

Построение интерфейса при таком способе организации данных на СОИ может базироваться на комбинированном применении реальных и виртуальных органов управления [31, 32]. В частности, в работе [32] предлагается новое решение построения интерфейса, при котором оператор имеет возможность «разметки» траектории движения виртуальными метками на синтезированной картине внекорабельной обстановки, а система супервизорного управления обеспечивает реализацию по этим меткам (командно-

го) управления с использованием интерфейсов в виде виртуальных пультов и виртуальных перчаток.

Дальнейшее использование СВО для моделирования в области космической робототехники будет в существенной степени определяться планами создания роботов для работ на поверхности космических аппаратов и беспилотных мобильных напланетных роботов с различными реконфигурируемыми навесными устройствами, что можно проследить по «дорожной карте» развития робототехники для освоения Луны, варианты которой периодически появляются в сообщениях новостных ресурсов и отчасти представлены в научных публикациях [33–36].

Заключение

В предлагаемых к реализации сценариях осуществления пилотируемых миссий к Луне выполнение экипажем работ на ее поверхности для последующей колонизации Луны и получение значимых научных результатов занимает видное место, поскольку именно в этих работах ожидается применение робототехники для создания лунной инфраструктуры. Поэтому проектирование взаимодействия экипажа с космическими роботами на основе построения виртуальных моделей в рамках наземного моделирования с применением СВО рассматривается как одно из критически важных направлений повышения безопасности выполнения разнообразных операций лунных миссий, особенно, работ в ходе ВнеКД, поскольку условия напланетной деятельности усложняют визуальный контроль и восприятие обстановки, возникают трудности оперативного воссоздания пространственного представления и принятия решений ЧО, перед которым ставится задача обеспечить выполнение ВнеКД.

В свете этих положений предъявляются повышенные требования к возможностям СВО, посредством которой предполагается качественно улучшить имитацию условий лунной миссии в дополнение к моделированию физиологических эффектов на соответствующих моделирующих стендах. Предлагаемые в различных проектах операторской деятельности формы предъявления ЧО визуальной информации, моделируемой и отображаемой с использованием СВО, должны быть направлены на улучшение восприятия текущей обстановки и снижение ситуационной неопределенности при принятии решений космонавтом в ходе выполнения операций лунных миссий.

Выполненный обзор проведенных ранее исследований и экспериментов с использованием технологий виртуальной реальности показывает, что многие технические трудности построения СВО удалось преодолеть. В настоящее время на основе известных прототипов представляется возможным разработать программный продукт, позволяющий решать вопросы моделирования для проектов освоения человеком Луны с применением различных роботов.

Публикация выполнена в рамках государственного задания по проведению фундаментальных научных исследований (ГП 14) по теме (проекту) «34.9. Системы виртуального окружения: технологии, методы и алгоритмы математического моделирования и визуализации». (0065-2019-0012).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Толстель О.В., Орешков С.С., Михайлюк М.В., Крючков Б.И., Усов В.М. Электронное прототипирование в задачах эргономического проектирования «напланетной» деятельности космонавтов с использованием роботов. // Робототехника и техническая кибернетика. – № 3(8). – 2015. – С. 41–45.
- [2] Тренажерные комплексы и тренажеры / Шукшунов В.Е., Циблиев В.В., Потоцкий С.И. и др. Под ред. Шукшунова В.Е. – М.: Машиностроение, 2005. – 263 с.
- [3] Масалкин А.И., Торгашев М.А. Опыт использования систем имитации визуальной обстановки в тренажерах пилотируемых космических аппаратов. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2. – 2015. – С. 36–42.
- [4] Михайлюк М.В., Брагин В.И. Технологии виртуальной реальности в имитационно-тренажерных комплексах подготовки космонавтов. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2, № 7. – 2013. – С. 82–93.
- [5] Бурдин Б.В., Михайлюк М.В., Сохин И.Г., Торгашев М.А. Использование виртуальных 3D-моделей для экспериментальной отработки бортовых полетных операций, выполняемых с помощью антропоморфных роботов. // Робототехника и техническая кибернетика. – № 1. – 2013. – С. 42–46.
- [6] Мальцев А.В., Михайлюк М.В., Лапта А.И. Моделирование перемещения и навигация космонавтов по внешней поверхности МКС // Пилотируемые полеты в космос. – № 3. – 2013. – С. 44–50.
- [7] Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система «GLVIEW» визуализации для моделирующих комплексов и систем виртуальной реальности. // Вестник Российской академии естественных наук. – № 2. – 2011. – С. 20–28.
- [8] Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система визуализации «GLVIEW» для имитационно-тренажерных комплексов подготовки космонавтов. // Пилотируемые полеты в космос. – № 4. – 2013. – С. 60–72.
- [9] Михайлюк М.В., Крючков Б.И., Усов В.М. Виды интерфейса для дистанционного взаимодействия космонавтов с автономными мобильными роботами при внекорабельной деятельности на лунной поверхности. // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(25). – 2017. – С. 41–53.
- [10] Крючков Б.И., Усов В.М., Михайлюк М.В. Применение методов захвата движений в космической робототехнике при инженерно-психологическом проектировании человеко-машинного взаимодействия // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(21). – 2016. – С. 57–78.
- [11] Сохин И.Г., Лончаков Ю.В., Сиволап В.А., Михайлюк М.В., Сычков В.Б. Эргономическое исследование дистанционного взаимодействия космонавтов с антропоморфными роботами помощниками. // Робототехника и техническая кибернетика. – № 3(12). – 2016. – С. 18–22.
- [12] 3D-модель служебного модуля РС МКС. // Информационный ресурс. URL: https://pikabu.ru/story/samaya_tochnaya_3d_model_sluzhebного_modulya_rs_mks_6511695 (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.)

- [13] 3D-панорамы модулей МКС. Информационный ресурс. URL: http://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/International_Space_Station/Highlights/International_Space_Station_panoramic_tour (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.).
- [14] Блог космонавтов МКС (архив) Орбитальный дом: экскурсия по МКС. // Информационный ресурс. URL: // <https://www.roscosmos.ru/3395/> (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.).
- [15] 3D-модель МКС (Инфографика. Известия) // Информационный ресурс. URL: <https://iz.ru/642892/2017-09-07/3d-model-mks> (доступ свободный, дата обращения 2020.04.24).
- [16] Михайлюк М.В., Крючков Б.И., Усов В.М. Разработка бортового виртуального симулятора для формирования и поддержания готовности экипажа на лунной станции к аварийному реагированию на потенциально опасные ситуации. // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2018). – СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018. (742 с.). – С. 688–697.
- [17] Моисеев Ю.Б., Рыженков С.П., Усов В.М., Михайлюк М.В., Алонцева Е.Н. Виртуальное прототипирование оборудования рабочих мест операторов с использованием компьютерных макетов тела человека. // Сб. трудов III Международной конференции «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах: ЭРГО 2018». Сб. докл. Санкт-Петербург. 4–7 июля 2018 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». (789 с.) – С. 282–290.
- [18] Якуничев Н.Г., Кукин О.Н. Дизайнерский подход к организации интерьера орбитальной космической станции // http://www.designspb.ru/news/posts/orbital_space_station_design/ доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.
- [19] Сохин И.Г., Курицын А.А., Усов В.М. Проблемы взаимодействия экипажей перспективных космических миссий с антропоморфными роботами-помощниками. // Сб. трудов III Международная конференция «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах: ЭРГО 2018». Сб. докл. Санкт-Петербург. 4–7 июля 2018 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». (789 с.) – С. 782–789.
- [20] Желтов С.Ю., Выголов О.В., Визильтер Ю.В. Авиационные системы улучшенного и синтезированного видения закабинного пространства // Полет. – № 1. – 2013. – С. 33–39.
- [21] Бубеев Ю.А., Крючков Б.И., Усов В.М. [и др.] Итоги космического эксперимента «Пилот-Т» для моделирования взаимодействия в системе «человек–робот» на лунной поверхности // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53. – № 7. – С. 65–75. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-65-75.
- [22] Масалкин А.И., Пекарский А.В. Моделирование визуальной обстановки в космических тренажерах // Аэрокосмический курьер. – 2002. – № 6. [Электронный ресурс]. URL: https://pikabu.ru/story/razvitie_kosmicheskikh_trenazherov_podgotovki_kosmonavtov_6514151 (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.).
- [23] Виноградов Ю.А., Основенко И.Н., Пискунов А.А. Развитие космических тренажеров подготовки космонавтов. // Электронный ресурс. URL: https://pikabu.ru/story/razvitie_kosmicheskikh_trenazherov_podgotovki_kosmonavtov_6514151 (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.).
- [24] Александров В.В., Бурдин Б.В., Крючков Б.И., Усов В.М., Чертополохов В.А. [и др.] Построение исследовательского стенда для психофизиологического тестирования интерактивного взаимодействия человека-оператора с виртуальной

- средой // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2016. – Т. 50. – № 5. – С. 6–7.
- [25] Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Гущин В.И., Боритко Я.С. К проекту освоения Луны: некоторые инженерно-психологические и медицинские проблемы // *Журнал «Космическая техника и технологии»*. – № 3(10). – 2015. – С. 68–80.
- [26] Кручинина А.П., Латонов В.В., Чертополохов В.А. Обзор технологий визуальной имитации в тренажерных системах // *Пилотируемые полеты в космос*. – № 3. – 2019. – С. 89–107.
- [27] Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Харламов М.М. [и др.] Экспериментальные исследования по оценке выполнения космонавтами сложной операторской деятельности после длительного космического полета на МКС в интересах осуществления полетов в дальний космос // *Пилотируемые полеты в космос*. – № 4(9). – 2013. – С. 24–35.
- [28] На МКС проведут виртуальный эксперимент по управлению ровером на Луне // *Новостной сайт «МГУ в СМИ»*. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.msu.ru/press/smiaboutmsu/na-mks-provedut-virtualnyu-eksperiment-po-upravleniyu-roverom-na-lune.html> (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.)
- [29] Шесть российских девушек «совершат полет» на Луну. // *Новостной ресурс ТАСС*. [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/kosmos/2383800> (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.)
- [30] Заборовский В.С., Кондратьев А.С., Силиненко А.В., Мулюха В.А., Ильяшенко А.С., Филиппов М.С. Удаленное управление робототехническими объектами в космических экспериментах серии «Контур» // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. – № 6(162). – 2012. – С. 23–32.
- [31] Заборовский В.С. Космическая робототехника: от автономных устройств к кибер-физическим системам // 2013 СПб, Ленэкспо Электронный ресурс. URL: http://www.csr-nw.ru/files/csr/file_content_1319.pdf (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.)
- [32] Сергеев А.В., Гук М.Ю. Управление мобильным роботом космического назначения с применением виртуальной реальности и силомоментного оцувствления. // *Пилотируемые полеты в космос*. – № 4. – 2018. – С. 44–52.
- [33] Васильев А.В., Кондратьев А.С., Градовцев А.А., Даляев И.Ю. Исследование и разработка проектного облика мобильной робототехнической системы для проведения геологической разведки на поверхности луны. // *Труды СПИИРАН*. – № 2(45). – 2016. – С. 141–156. <https://doi.org/10.15622/sp.45.9>.
- [34] Робот мобильный для операций в открытом космосе «Косморобот». Информационный ресурс. URL: <https://rtc.ru/solution/kosmorobot/> (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.)
- [35] Даляев И.Ю. «Робот космического назначения «Косморобот». Тенденции, и перспективы развития технологических роботов при освоении космического пространства». Круглый стол, посвященный основным итогам испытаний антропоморфного робота «Skybot-F-850» на борту РС МКС и перспективам дальнейшего использования робототехнических систем в космической деятельности // *Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» 13–15 ноября 2019 года*.

- [36] В Петербурге провели космический эксперимент. // Информационный ресурс Сайт 1TV Spb. URL: http://www.1tvspb.ru/event/Roboti_i_kosmos/ (доступ свободный, дата обращения 2020.02.02.)

REFERENCES

- [1] Tolstel O.V., Oreshkov S.S., Mikhailyuk M.V., Kryuchkov B.I., Usov V.M. Electronic prototyping in tasks of ergonomic design for cosmonauts' on-planet activities with robots application. // *Robotics and Technical Cybernetics*. – No 3(8). – 2015. – pp. 41–45.
- [2] Simulators and simulator complexes / Shukshunov V.E., Tsybliev V.V., Pototskiy S.I., et al. Edited by Shukshunov V.E. – Moscow: Mashinostroenie, 2005. – p. 263.
- [3] Masalkin A.I., Torgashev M.A. Experience of the use of visual environment modeling systems in simulators of manned space vehicles. // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – No 2. – 2015. – pp. 36–42.
- [4] Mikhailyuk M.V., Bragin V.I. Application of virtual reality technologies in simulation complexes for cosmonaut training. // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – No 2, No 7. – 2013. – pp. 82–93.
- [5] Burdin B.V., Mikhailyuk M.V., Sokhin I.G., Torgashev M.A. The usage of virtual 3D-models for experimental exercising the flight operations performed with the help of anthropomorphic robots // *Robotics and Technical Cybernetics*. – No 1. – 2013. – pp. 42–46.
- [6] Maltsev A.V., Mikhailyuk M.V., Lapta A.I. Simulation of movement and navigation of cosmonauts over the external surface of the ISS // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – No 3. – 2013. – pp. 44–50.
- [7] Mikhailyuk M.V., Torgashev M.A. GLVIEW visualization system for simulator complexes and VR-systems // *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. – No 2. – 2011. – pp.20–28.
- [8] Mikhailyuk M.V., Torgashev M.A. GLVIEW – visualization system for the simulation facilities to train cosmonauts. // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – No 4. – 2013. – pp. 60–72.
- [9] Mikhailyuk M.V., Kryuchkov B.I., Usov V.M. Options of interfaces for the remote interaction of cosmonauts with autonomous mobile robots during extravehicular activity on the lunar surface // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – No 4(25). – 2017. – pp. 41–53.
- [10] Kryuchkov B.I., Usov V.M., Mikhailyuk M.V. Engineering-psychological designing of human-machine interaction // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – No 4(21). – 2016. – pp. 57–78.
- [11] Sokhin I.G., Lonchakov Yu.V., Sivolap V.A., Mikhailyuk M.V., Sychkov B.V. Ergonomic studies of remote interaction between astronauts and anthropomorphic robot assistants // *Robotics and Technical Cybernetics*. – No 3(12). – 2016. – pp. 18–22.
- [12] 3D-model of the ISS RS Service Module // information resource. URL: https://pikabu.ru/story/samaya_tochnaya_3d_model_sluzhebnogo_modulya_rs_mks_6511695 (public access, access date 2020.02.02.)
- [13] 3D-panoramas of the ISS modules. Information resource. URL: http://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/International_Space_Station/Highlights/International_Space_Station_panoramic_tour (public access, access date 2020.02.02.).

- [14] ISS cosmonauts' blog (archive) Orbital house: ISS tour// information resource. URL: // <https://www.roscosmos.ru/3395/> (public access, access date 2020.02.02.).
- [15] 3D-model of the ISS (Infographic. Izvestia) // Information resource. URL: <https://iz.ru/642892/2017-09-07/3d-model-mks> (public access, access date 2020.04.24).
- [16] Mikhailyuk M.V., Kryuchkov B.I., Usov V.M. Development of on-board virtual simulator for crew readiness for emergency response at the lunar station. // Proceedings of the Conference "Information Technologies in Management" (ITU-2018). – SPb.: JSC "Concern" Central Research Institute "Electropribor". – 2018. (742 p.). – pp. 688–697.
- [17] Moiseev Yu.B., Ryzhenkov S.P., Usov V.M., Mikhailyuk M.V., Alontseva E.N. Virtual prototyping of equipment for operator workstations using computer models of the human body. // Proceedings of the III International Conference "Human Factor in Complex Technical Systems and Environments: ERGO 2018". Book of reports. Saint-Petersburg. July 4–7, 2018. – St. Petersburg: SPbGETU "LETI". (789 p.). – pp. 282–290.
- [18] Yakunichev N.G., Kukin O.N. An artist approach to interior design of the orbital space station // http://www.designspb.ru/news/posts/orbital_space_station_design/ public access, access date 2020.02.02.
- [19] Sokhin I.G., Kuritsyn A.A., Usov V.M. Issues of human-robot interaction in future space missions. // Proceedings of the III International Conference "Human Factor in Complex Technical Systems and Environments: ERGO 2018". Book of reports. Saint-Petersburg. July 4–7, 2018. – St. Petersburg: SPbGETU "LETI". (p. 789). – pp. 782–789.
- [20] Zheltov S.Yu., Vygolov O.V. Vizilter Yu.V. Aircraft systems for enhanced and synthesized vision of external environment // Polyot. – No 1. – 2013. – pp. 33–39.
- [21] Bubeev Yu.A., Kryuchkov B.I., Usov V.M. [et al.] Results of space experiment Pilot-T simulating the human–robot interactions on the lunar surface // Journal of Aerospace and Environmental Medicine. – 2019. – Vol. 53. – No 7. – pp 65–75. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-65-75.
- [22] Masalkin A.I., Pekarsky A.V. Modeling the visual environment in space simulators // Journal Aerospace Courier. – 2002. – No 6. [Electronic source]. URL: https://pikabu.ru/story/razvitie_kosmicheskikh_trenazherov_podgotovki_kosmonavtov_6514151 (public access, access date 2020.02.02.)
- [23] Vinogradov, Y.A., Osnovina I.N., Piskunov A.A. Development of space simulators for cosmonaut training. // [Electronic source]. URL: https://pikabu.ru/story/razvitie_kosmicheskikh_trenazherov_podgotovki_kosmonavtov_6514151 (public access, access date 2020.02.02.)
- [24] Alexandrov V.V., Burdin B.V., Kryuchkov B.I., Usov V.M., Thistolokhov V.A. [et al.] Designing a research stand for psychophysiological testing of the "human operator–virtual environment" interaction // Journal of Aerospace and Environmental Medicine. – 2016. – Vol. 50. – No 5. – pp. 6–7.
- [25] Ushakov I.B., Bubeev Yu.A., Gushchin V.I., Boritko Ya.S. On the subject of lunar exploration: some engineering-psychology and medical problems // Space Engineering and Technology magazine. – No 3(10). – 2015. – pp. 68–80.
- [26] Kruchinina A.P., Latonov V.V., Chertopolokhov V.A. Review of visual imitation technologies in simulation systems // Scientific Journal Manned Spaceflight. – No 3. – 2019. – pp. 89–107.

- [27] Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Kharlamov M.M. [et al.] Experimental assessment of carrying out complex operator activity by cosmonauts after long-duration mission aboard the ISS in the interests of human space exploration beyond low-earth orbit // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – No 4(9). – 2013. – pp. 24–35.
- [28] Virtual rover control experiment will be carried out on the ISS // Internet news site “MSU media coverage”. [Electronic source]. URL: <https://www.msu.ru/press/smia-boutmsu/na-mks-provedut-virtualnyy-eksperiment-po-upravleniyu-roverom-na-lune.html> (public access, access date 2020.02.02.)
- [29] Six Russian girls will “fly” to the Moon // Internet news site ‘TASS. [Electronic source]. URL: <https://tass.ru/kosmos/2383800> (public access, access date 2020.02.02.)
- [30] Zaborovsky V.S., Kondratyev A.S., Filonenko A.V., Mulyukha V.A., Ilyashenko A.S., Filippov M.S. The remote control of robotic objects in the frame of “Contour” space experiments // *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems*. – No 6(162). – 2012. – pp. 23–32.
- [31] Zaborovsky V.S. Space robotics: from autonomous devices to cyber-physical systems // 2013. SPb. Lenekspo. [Electronic source]. URL: http://www.csr-nw.ru/files/csr/file_content_1319.pdf (public access, access date 2020.02.02.)
- [32] Sergeev A.V., Guk M.Yu. Mobile space robot control with the use of virtual reality // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – No. 4. – 2018. – pp. 44–52.
- [33] Vasiliev A.V., Kondratev A.S., Gradovtsev A.A., Dalyaev I.Yu. Research and development of a mobile robotic system for geological exploration on the lunar surface // *SPIIRAS Proceedings*. – No 2(45). – 2016. – pp. 141–156. <https://doi.org/10.15622/sp.45.9>.
- [34] “Cosmorobot” mobile robot for operations in outer space. Information resource. URL: <https://rtc.ru/solution/kosmorobot/> (public access, access date 2020.02.02.)
- [35] Dalyaev I.Yu. “Cosmorobot” space-rated robot. Prospects for the development of technological robots in space exploration. Round table on the main test results of the Skybot-F-850 anthropomorphic robot aboard the ISS RS and the prospects for the further application of robotic systems in space activities // *Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference “Manned Spaceflight”*. November 13–15, 2019.
- [36] About space experiment carried out in Saint -Petersburg. // Information resource web-site 1TV Spb. URL: http://www.1tvspb.ru/event/Roboti_i_kosmos/ (public access, access date 2020.02.02.)