

УДК 004.946;159.9:629.78;681.51;621.865.8

## ИТОГИ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ПИЛОТ-Т» ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК – РОБОТ» НА ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Бубеев Ю.А.<sup>1</sup>, Усов В.М.<sup>1</sup>, Сергеев С.Ф.<sup>2</sup>, Крючков Б.И.<sup>3</sup>, Михайлюк М.В.<sup>4</sup>, Йоханнес Б.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>3</sup>Научно-исследовательский испытательный «Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина», Звездный городок, Московская обл.

<sup>4</sup>Федеральный научный центр «Научно-исследовательский институт системных исследований РАН», Москва

<sup>5</sup>Институт авиакосмической медицины, ДЛР, Кельн, Германия

E-mail: bubeev@imbp.ru

*В статье рассматривается возможность использования в качестве прототипов для разработки стендов компьютерного моделирования (СКМ) существующих психодиагностических стендов. Представлен, как прототип, бортовой тренажер «Пилот-Т», разработанный для космических экспериментов на орбитальных станциях. СКМ необходимы для современных эргономических проектов в области экстремальной робототехники и изучения психофизиологических возможностей человека-оператора при его взаимодействии с роботами в экстремальных условиях. В статье рассматривается моделирование взаимодействия космонавтов с автономными мобильными роботами на поверхности Луны.*

Ключевые слова: взаимодействие человека с роботом, луноход, группа автономных мобильных роботов, стенд компьютерного моделирования (СКМ), виртуальная реальность (VR).

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 7. С. 65–75.

DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-65-75

Для реализации проектов освоения Луны: эргономического проектирования средств деятельности космонавтов, отработки сложных полетных операций, моделирования элементов конструкций и лунных комплексов в целом, создания технических средств профессиональной подготовки космонавтов – проводятся исследования по компьютерному моделированию виртуальных прототипов эргатических систем и виртуального окружения человека-оператора (ЧО) в рабочем пространстве.

Компьютерные моделирующие комплексы для изучения типовых режимов пилотирования космических аппаратов и эксплуатации их бортовых систем, способов обнаружения и локализации нештатных ситуаций (НШС) на орбитальных комплексах входят в число широко используемых технических средств подготовки космонавтов.

Полученные решения при разработке технических средств обучения космонавтов с применением технологий виртуальной реальности могут быть полезны для инженерно-психологического проектирования операторской деятельности при работе с роботами-помощниками экипажа в экстремальной среде, например, при освоении Луны [1–3].

В среднесрочных планах космических проектов среди новых вопросов развития космических технологий обсуждаются сценарии внекорабельной деятельности (ВКД) экипажа космонавтов на лунной поверхности. В помощь экипажу в условиях ограниченной поддержки с Земли предлагается использование роботов, как в варианте пилотируемого космонавтом лунного ровера (по аналогии с программой «Аполлон»), так и в различных конфигурациях в составе группы автономных мобильных роботов (АМР) для выполнения строительно-монтажных, буровых, транспортных и других операций. В свете повышенных требований по безопасности выполнения операций ВКД необходимы предварительные экспериментальные проработки методов управления и человеко-машинного интерфейса для учета психофизиологических особенностей деятельности космонавтов при взаимодействии с роботами различных уровней автономности и интеллектуальности. При этом возникают методические вопросы, связанные с выбором предпочтительных способов моделирования деятельности ЧО. При натурном или полунатурном моделировании в экспериментах такого рода встречаются известные трудности, связанные с обеспечением безопасности добровольцев-испытателей. Кроме того, не решены вопросы более широкого плана – о сценариях лунных миссий и деталях построения лунной инфраструктуры, функционале роботов для поддержки ВКД космонавтов на поверхности Луны и др., что затрудняет формирование исходных данных для

реализации натуральных моделей. Многие разработчики робототехнических систем (РТС) на ранних этапах проектирования могут предложить только компьютерные макеты своих изделий. По этой причине для психофизиологического тестирования взаимодействия экипажа с роботами в поисковых исследованиях по тематике «лунной программы» применяются комбинированные решения, допускающие длительное пребывание испытателей в замкнутом объеме (так называемые комплексные изоляционные эксперименты – КИЭ) с моделированием циклограммы полета к планетам и к Луне (включая выполнение ВКД на поверхности планет). Данные решения ориентированы на компьютерные модели, реализующие интерактивную виртуальную среду, аналогично моделям виртуальной реальности на имитационных стендах [4–6]. В работах [7–9] раскрыты особенности выполнения операторских задач в различных имитационных моделях профессиональной деятельности космонавтов, в том числе по ручному управлению стыковкой транспортного корабля «Союз-ТМА» и пилотируемым транспортным средством на поверхности планеты.

Эти данные представляют интерес с точки зрения проектирования перспективных средств операторской деятельности в виртуальном окружении и в плане осуществления объективного контроля за результатами деятельности ЧО и динамикой психофизиологического состояния.

Помимо лабораторного компьютерного моделирования взаимодействия ЧО с удаленными управляемыми объектами в условиях соответствующего виртуального окружения, активно развивается направление космических экспериментов (КЭ) на Международной космической станции (МКС) (серия «Контур-2» и т.д.) для отработки различных способов управления мобильным роботом с борта станции (в том числе на основе визуальной и силомоментной обратной связи), что рассматривается в свете решения проблем телеуправления мобильным роботом на поверхности Луны с окололунной орбиты [10–12].

Появление большого количества работ в области экстремальной робототехники применительно к запросам пилотируемой космонавтики свидетельствует об актуальности использования компьютерных имитационных стендов для реализации моделей деятельности оператора, с помощью которых можно решить ряд таких вопросов как:

- оценка надежности и безопасности той или иной формы взаимодействия космонавтов с «напланетными» (в данном случае лунными) роботами;
- формирование требований к интерфейсу для обеспечения согласованного функционирования участников группы при использовании мобильных роботов, достижения необходимой информационной поддержки космонавтов, своевременного выявления риска в напланетной деятельности;

– определение психологических (в том числе когнитивных) функций и структур, на которые должны быть в первую очередь ориентированы «внешние средства деятельности» космонавта, используемые для обеспечения дистанционного взаимодействия с роботами.

Учитывая исключительно широкое разнообразие видов операторской деятельности, осваиваемых космонавтами в процессе профессиональной подготовки, анализ прототипов для построения адекватных моделей взаимодействия человека с напланетными роботами при ВКД на лунной поверхности целесообразно начинать с анализа условий и средств деятельности при выполнении наиболее ответственных и опасных операций, обращая при этом внимание не только на сходство, но и на их значимые отличия.

*Разработка виртуальных моделей деятельности космонавтов в лунных экспедициях с применением роботов: концептуально-технологический базис*

Инженерно-психологическое проектирование взаимодействия человека и робота является технологической частью междисциплинарной области исследований человеческого фактора. В этой связи представляет интерес выбор методологии и методов экспериментального исследования, в том числе базовые возможности метода цифрового моделирования для обеспечения экспериментов в лабораторных условиях. Если следовать изложенной в работе [13] тактике и стратегии интеграции человека и машины, то применительно к экстремальной робототехнике возможно использование следующих взаимодополняющих подходов:

1) *роботоцентрического* (как варианта «*машинноцентрического*» подхода к комплексной автоматизации):

– на этапе проектирования отдельно рассматриваются робототехнические изделия и роботы, предназначенные для экстремальных условий;

– формулируются повышенные требования к информационно-коммуникационным и управляющим возможностям бортовых систем робота;

2) *симбиотического* – на этапе проектирования взаимодействия с группой роботов, для совместного выполнения заданий в экстремальных условиях требующих интеграции ресурсов элементов системы, что в рамках специально спроектированных виртуальных индуцированных сред обеспечивает достижение синергетического эффекта – согласованную активность виртуальных моделей при мониторинге и осуществлении контроля в группе АМР со стороны ЧО;

3) *антропоцентрического*, который подразумевает приоритет человека в принятии решений при взаимодействии ЧО с роботами.

В качестве проектного базиса виртуальных моделей деятельности в настоящей работе используются:

- модели операторской деятельности, известные из опыта проведения КЭ на МКС, с целью их адаптации к управлению лунным ровером;
- варианты построения компьютерного имитационного эксперимента для изучения процессов взаимодействия «человек – робот» и получения информации о поведении и деятельности ЧО;
- известные из авиационной и космической практики средства информационного обеспечения деятельности ЧО в составе систем улучшения ситуационной осведомленности (СТО) и отображения информации (СОИ) с целью: а) осуществления селекции данных из потока поступающей информации; б) проверки целостности, полноты и непротиворечивости данных для подготовки принятия решения; в) адресной доставки космонавту при взаимодействии с группой АМР в доступной для восприятия форме сведений о текущей ситуации.

При поиске прототипов из области пилотируемой космонавтики для реализации моделей взаимодействия ЧО с космическим роботом в лабораторном эксперименте целесообразно руководствоваться критериями:

- антропоцентрической направленности эксперимента;
- дистанционного режима управления;
- общесистемных принципов построения;
- мультивариантности принятия решений;
- многообразия внешних средств деятельности ЧО в различных вариантах построения взаимодействия «человек – робот».

С этих позиций естественно обратить первоочередное внимание на разработки стендов-имитаторов, предназначенных для изучения операторской деятельности космонавтов по управлению объектами в автоматизированном и ручном режимах в условиях орбитального полета [10]. К ним также органично примыкают исследовательские стенды (психодиагностические комплексы-тренажеры), которые воспроизводят наиболее значимые элементы деятельности космонавта в КИЭ [10, 14, 15].

#### *Особенности базового прототипа модели деятельности*

Проанализируем, используя вышеперечисленные критерии, КЭ «Пилот» (продолжающийся на МКС в модификации «Пилот-Т»), моделирующий динамические операции на пилотируемых космических аппаратах (ПКА) – облета, причаливания и стыковки – и одновременно отвечающий требованиям постановки задач по изучению индивидуальных стилей деятельности в процессе внутригрупповой коммуникации в космическом экипаже, определения сохранности навыков в длительном

полете на основе психодиагностического комплекса-тренажера [10, 14–16]. В КЭ «Пилот-Т» получены новые научные факты по многим смежным направлениям космической медицины, в частности, показана возможность разнопланового применения бортовой экспериментальной аппаратуры не только в целях поддержания навыков выполнения полетных операций, но и для исследования механизмов зрительно-моторной координации, влияния сенсорного конфликта на точность исполнительных действий, индивидуальных поведенческих стратегий на результативность и риск ошибочных действий.

Данный психодиагностический комплекс (в варианте исполнения стенд-тренажер) как прототип отвечает вышеуказанным критериям, что делает правомерной адаптацию этой исследовательской модели деятельности к управлению пилотируемым ровером.

В ГНЦ РФ – ИМБП РАН выполнен цикл работ по изучению возможностей перемещения космонавта по лунной поверхности на лунном ровере в рамках полунатурного моделирования. В реальном физическом исполнении воспроизводилось рабочее место и органы управления лунного ровера, а внешняя визуальная обстановка моделировалась с использованием визуализации на (сферическом) экране интерактивной синтезированной картины лунного ландшафта [5].

В настоящее время это направление исследований развивается совместно специалистами ГНЦ РФ – ИМБП РАН, НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина и МГУ им. М.В. Ломоносова. Результаты моделирования, полученные в ГНЦ РФ – ИМБП РАН в КИЭ с привлечением испытателей-добровольцев, были воспроизведены на базе НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина в послеполетных обследованиях экипажей МКС непосредственно после приземления посредством предварительной имитации этапа посадки спускаемого аппарата на центрифуге по специальному профилю ее вращения [6].

Подводя промежуточные итоги, отметим, что к настоящему времени получен большой массив данных КЭ, связанных с изучением наиболее ответственных динамических режимов управления ПКА и их системами. Эти результаты подробно изложены в ряде публикаций сотрудников ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Космические эксперименты подобной направленности имеют большое теоретическое и практическое значение для изучения человеческого фактора в авиакосмических полетах. В них раскрывается психологическое содержание деятельности, определяются факторы, лимитирующие ее надежность, раскрываются механизмы адаптации ЧО к условиям длительного космического полета.

Это в полной мере относится к дистанционному режиму управления (динамическим) объектом, реализованному в КЭ «Пилот-Т», что отвечает второму

из вышеперечисленных критериев (дистанционный режим ручного управления объектом), и дает предпосылку воспроизведения данной модели деятельности при исследовании пилотируемого варианта управления лунным ровером.

Третьему критерию (общесистемные принципы построения эргатической системы) соответствуют имеющиеся и готовящиеся к постановке КЭ, непосредственно относящиеся к сфере управления РТС на борту МКС. Они не равнозначны по глубине проработки вопросов человеческого фактора, что во многом объясняется «проблемами роста» технологий экстремальной робототехники. Конструкторы стремятся в первую очередь обеспечить техническую надежность изделий, решить проблемы связи по линии «Земля – борт МКС – Земля» и др. [10–12].

С точки зрения обеспечения безопасности космического полета необходимо помнить о рисках нарушения пространственной ориентировки человека при выполнении операторских задач. Причины нарушения пространственной ориентировки в авиакосмическом полете могут быть разными, но прежде всего они связаны с особенностями взаимодействия сенсорных и перцептивных систем в условиях микрогравитации. Возможны и когнитивные нарушения в форме утраты СтО. При нарушениях пространственной ориентировки могут проявляться феномены дезорганизации интеллектуальной деятельности.

Относительно критериев многообразия следует отметить, что эти критерии могут служить ориентирами в методическом плане для конкретизации актуализируемых на каждом этапе деятельности исполнительных актов и операций.

#### *Описание предметной задачи моделирования деятельности в эксперименте «Пилот-Т»*

Описание психологического содержания деятельности в сложных технических системах широко отражено в работах специалистов авиакосмической медицины [17–19]. В данных работах показано, что деятельность человека в особой ситуации полета должна начинаться не с заученного автоматизированного действия, а с «переосмысления ситуации на основе новой актуальной приборной информации». От оператора в этих условиях требуется актуализация продуктивных форм психической активности, направленных на поиск и анализ релевантных признаков, оценку текущей ситуации с учетом резерва времени и потенциальных угроз безопасности полета.

Инженерно-психологическая интерпретация взаимодействия человека и техники в сложной тактической обстановке связана с использованием понятия (конструкта) «ситуационная осведомленность» (СтО) или англ. Situational Awareness (SA) [20–22].

Опыт построения модели деятельности для КЭ «Пилот-Т» оказался полезен для проектирования условий применения космических роботов для ВКД. Сформировалось понимание важности такого компонента в составе деятельности ЧО.

Сближение и стыковка на реальном транспортном пилотируемом корабле происходит с использованием приборных инструментальных средств [23, 24]. В данной статье не представляется возможным в деталях остановиться на внешних средствах операторской деятельности, необходимо сделать акцент на описании принципа организации рабочего пространства при управлении подвижными объектами, следуя понятию «антропоцентрический объект» [25], аналогичному понятию «рабочее место и среда деятельности» эргатической системы. В цитируемой работе «антропоцентрический объект» представляет собой реальную физическую оболочку с искусственной воздушной 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 отображения информации. Экипаж в таком объекте позиционирует себя в эгоцентрической системе координат, связанной с кабиной летательного аппарата, а СОИ позволяет сформировать информационную модель для управления перемещением объекта в пространстве. Этой же цели служат современные средства «улучшенного видения», которые дают возможность получить синтезированную картину внешней визуальной обстановки [26, 27].

В модель управления лунным ровером необходимо внести условия получения достоверной информации об удаленности цели, навигационных ориентирах, точной и обновляемой электронной карты местности, показаниях абсолютной скорости перемещения по поверхности и относительной при сближении с другим мобильным объектом, расходе энергетических запасов и др. Значение для СтО может иметь включение в состав СОИ для оператора пилотируемого ровера индикации «вид со стороны» на перемещения лунного ровера по поверхности, в том числе на основе синтезируемой и визуализируемой в формате 3D-интерактивного (масштабируемого с изменяемым ракурсом наблюдения) панорамного изображения и данных цифровой карты местности. В то же время с точки зрения эргономики и психофизиологии труда имеются основания неоднозначно оценивать внедрение синтезируемых картин в состав систем индикации подвижного объекта без глубокого экспериментального обоснования [13].

Для варианта дистанционного управления беспилотным ровером с лунной орбиты или из обитаемой многомодульной лунной базы можно выделить ряд психофизиологических ограничений деятельности,

которые могут происходить из-за задержек передачи информации на большие расстояния, например, при передаче управляющих сигналов между разными наземными центрами управления и орбитальными объектами. Новые риски возникают вследствие изменения восприятия человеком пространственных и временных соотношений. Одной из причин зрительных иллюзий называют эффекты, связанные с характеристикой «константности» восприятия, выражающейся в относительной устойчивости воспринимаемых признаков предметов при изменении условий восприятия. «Константность» придает зрительному образу важную черту – независимость в некоторых пределах от условий восприятия и искажений [28].

Другой способ индикации и соответственно модели деятельности ЧО основан на идеях дополненной и индуцированной реальности. В них существенное улучшение СтО достигается сохранением связи эгоцентрической системы координат человека-оператора с удаленным от управляемого объекта рабочим местом космонавта. При переходе к географическим координатам позиционирования наблюдателя необходима синтезируемая картина обзора для предъявления оператору «вида со стороны» на контролируемую территориальную зону и оперативного отображения перемещения в ней. Параметры движения беспилотного ровера могут отображаться на индикаторах СОИ в традиционном символьно-цифровом виде на основе передаваемых по линиям связи данных измерений от бортовых систем, но при необходимости могут дополняться индикацией (на принципах «улучшенного видения») прогнозируемой траектории в виде положенного «коридора» от текущей позиции активного агента. Построение интерфейса при таком способе организации данных на СОИ может базироваться на реальных органах управления, например, как в КЭ «Контур-2» на МКС с помощью многостепенных ручек управления при ограниченной обратной связи [11].

Существенно большие возможности в отношении простоты и естественности могут дать интерфейсные схемы индуцированной реальности. В них взаимодействия «человек – беспилотный аппарат» осуществляются с помощью виртуальных органов управления. Оператор имеет возможность «разметки» траектории движения виртуальными метками на синтезированной картине внекорабельной обстановки, а система супервизорного управления обеспечивает реализацию по этим меткам (командного) управления с использованием интерфейсов в виде виртуальных пультов и виртуальных перчаток [10].

#### *Групповое взаимодействие робототехнических систем и операторов на Луне*

Организация взаимодействия экипажа и неоднородной группы роботов в составе единой команды

является новой для пилотируемой космонавтики и еще малоизученной в практическом плане проблемой. С точки зрения безопасности ВКД с позиций антропоцентрического подхода на ранних стадиях проектирования такой модели можно выдвигать требование необходимости «включения» человека в оперативный контроль ситуации («принцип активного оператора») для принятия решений в нестандартных условиях [18, 29]. Реализация на практике этого положения дает основание говорить о человеке как о высшем звене в циклах коммуникативного взаимодействия в составе смешанной команды за счет организации коммуникации в интересах человека (согласно концепции Б.Ф. Ломова о соответствии автоматов конечным целям человека). При этом не должен теряться эффект группового взаимодействия, при котором каждый специализированный активный агент в благоприятных условиях наилучшим способом обслуживает интересы группы в целом.

Можно предположить, что на начальных этапах применения группы АМР на поверхности Луны, помимо выполнения каждым типом АМР узкоспециализированных функций, в качестве побочного результата целенаправленной активности будет осуществляться цикл постоянного обновления модели цифровой карты местности (МЦК). На ее основе может создаваться и развиваться навигационно-транспортная инфраструктура и реализуется возможность последующего планирования рациональных маршрутов передвижения АМР. Предполагается, что позиционирование и навигацию будут проводить сами интеллектуальные АМР, используя бортовые сенсоры, СТЗ и прочее бортовое оборудование, а интегрированную картину данных ЧО получает через каналы телеметрии на рабочем месте, осуществляя при необходимости обратную связь через диспетчерский пункт посредством командных предписаний.

В этом аспекте виртуальные интеллектуальные среды становятся новым информационным инструментом в активе средств деятельности ЧО для мониторинга поведения (разнородных) интеллектуальных агентов.

Предварительное описание информационного контента, являющегося предметом коммуникации ЧО и группы АМР, предназначено для информирования о текущей конфигурации группы и потенциальных конфликтах интересов АМР в конкуренции за ресурсы, одновременно служит основой для подготовки принятия решений.

В дистанционном режиме ЧО может оперативно получать от группы АМР динамически меняющуюся картину маршрутов передвижения в сложной внешней среде, в которой помимо естественных препятствий движению находятся искусственные элементы лунной инфраструктуры. Все эти данные

собираются и формируются на основе телеметрической информации, передаваемой от АМР. В конечном итоге оперативная информация аккумулируется и обобщается в виртуальных интеллектуальных средах, создавая единую картину, обновляемую по мере поступления новых данных. Для того чтобы на основе этой информации ЧО мог ориентироваться в пространстве, он должен быть способен представить свое местоположение:

- в координатах «внешнего наблюдателя» («вид со стороны» на визуальную картину с мобильными объектами, например, на навигационном электронном индикаторе);

- в эгоцентрической системе координат, связанной с одним из мобильных объектов;

- в географических координатах МЦК непосредственного окружения АМР.

Можно констатировать, что в каждом из этих достаточно разных в психологическом отношении вариантов речь идет о визуальных образных представлениях человека. Например, в случае, если ЧО занимает позицию «вид со стороны», его деятельность в большей степени напоминает работу диспетчера системы управления воздушным движением (УВД), а при наблюдении рабочего окружения, визуализируемого в «эгоцентрической» системе координат на подвижном объекте, можно найти сходство с работой штурмана летательного аппарата.

К настоящему времени в авиакосмической области накоплен большой опыт построения бортовых СОИ, а в ходе инженерно-психологических экспериментов определены и сформулированы основные принципы разработки новых моделей деятельности ЧО. Они базируются на теоретических обобщениях исследований отечественных авиационных психологов, сформулировавших концепцию «образ полета» как разновидности концептуальной модели, адаптированной к особенностям летного труда, предложили конструктивные решения в области повышения безопасности полета [29].

Несмотря на многообразие подходов к проблеме отображения информации на бортовых электронных индикаторах, можно выделить два основных варианта предъявления информации [30, 31]. Первый находит выражение в попытках сформировать картинный вид окружающего пространства, подобный тем визуальным образам, которые мог бы наблюдать человек при прямом визуальном контакте. Второй – ориентирован на преимущественное представление полетной инструментальной информации в символической форме в виде шкал и индексов [31–33]. Наиболее значимые для организации человеко-машинного взаимодействия события происходят на психологическом уровне восприятия и конструирования обстановки и построения обобщенного «навигационного образа» как составной части «образа полета», который обеспечивает принятие

решений [29, 34]. При построении психологической характеристики модели деятельности необходимо акцентировать внимание на вопросах информационной поддержки работы регуляторных механизмов, которые позволяют ЧО воссоздать «целостный и динамичный образ внешней обстановки», распределить внимание между различными источниками информации, выполнить прогнозирование развития ситуации (ее пространственно-временного образа), оперативно включиться в процесс управления при возникновении НшС или выявлении конфликта интересов контролируемых агентов [29, 30].

Для улучшения СтО возможно применение внешних средств деятельности ЧО:

- сбор с помощью бортовых систем АМР данных о рабочей среде, местоположении искусственных объектов, запрашиваемых ресурсах, текущих задачах и доставки исходных данных, получаемых в дистанционном режиме от АМР, для интегрированного представления на рабочих местах членов экипажа с учетом их специализации и распределения функций;

- обработка и представление визуальной информации с использованием электронных приборов и индикаторов;

- подготовка данных о потенциальных конфликтах интересов для принятия решений о предотвращении коллизий АМР;

- реализация принятого решения на основе имеющихся средств дистанционного управления с учетом резерва времени.

Возможный вариант улучшения СтО в данной конфигурации интеллектуальных АМР – применение технологии мультиагентных систем (МАС) для организации потоков информации, приведения ее в доступную форму (3D-индикация виртуального окружения), обеспечения адресной доставки лицу, принимающему решения. В этом случае «виртуальные агенты» могут выступать как источники и как потребители передаваемой между участниками взаимодействия ориентирующей информации «от имени» реальных АМР, функционирующих в реальной среде.

Этот подход, развивающий идеи индуцированной виртуальной реальности, направлен на то, чтобы замещать в контуре коммуникации реально существующие АМР их «виртуальными двойниками», способными выборочно и оперативно собрать, обработать и адресно доставить космонавту непротиворечивый состав исходных данных для принятия решений.

Поставленные интерфейсные задачи могут быть возложены на специально спроектированную программную среду, предназначенную для построения виртуального интеллектуального окружения.

В ряде работ отмечается, что развитие тренажерных систем и систем обеспечения комплексного

психофизиологического эксперимента во многом определяются совершенствованием программного обеспечения технологии виртуальной реальности и пользовательских интерфейсов для человеко-машинного взаимодействия [2, 35–38].

Моделирование визуальной обстановки на основе технологий виртуальной и дополненной реальности представлено во многих зарубежных и отечественных разработках, что позволяет ожидать в ближайшем будущем появление доступных описаний базовых решений по компьютерному моделированию визуальной обстановки.

При создании технических средств подготовки космонавтов используется ряд отечественных разработок, обладающих потенциалом для внедрения в смежных областях. Например, в программном продукте GLview решены вопросы создания реалистичного изображения интерьеров бортовых систем, внешней поверхности пилотируемых комплексов, и, что особенно важно, разномасштабного отображения синтезируемого изображения с разных ракурсов (при мультипортовом выводе на монитор) [1, 3, 36].

При выборе методов экспериментального исследования как одно из возможных решений возможно рассматривать применение исследовательских информационно-моделирующих комплексов (ИИМК), позволяющих:

- проектировать ситуационную обстановку на поверхности Луны;
- формировать сценарии компьютерного эксперимента для задания причинно-следственных факторов коллизий роботов и их исходов при различной локализации аварии и степени участия человека в ее ликвидации;
- дать оценку по критериям опасности для человека;
- отработать типовые схемы взаимодействия и рациональные действия членов экипажа в единой смешанной команде;
- управлять состоянием рабочей среды и активностью виртуальных агентов.

Очерченный в статье круг вопросов сегодня успешно решается в междисциплинарных полях эргономики и инженерной психологии с помощью новых, иммерсивных моделей, базирующихся на технологиях виртуальной и дополненной реальности, цифрового и управляемого полунатурного моделирования [39, 40].

### Выводы

1. В пилотируемых программах освоения космоса существенная роль отводится освоению Луны с созданием инфраструктуры для экипажей лунных миссий. Опираясь на достигнутый уровень безопасности орбитальных полетов, важно обеспечить и

в перспективных проектах освоения Луны преемственность традиций активного участия экипажа в разрешении проблемных ситуаций на основе оперативной оценки обстановки и способности адекватно реагировать на потенциально опасные для жизни и здоровья аварийные ситуации. Робототехническая поддержка экипажа в условиях автономной деятельности на Луне должна рассматриваться как составная часть стратегии обеспечения безопасности.

2. Для решения проблемы совершенствования методов и средств обеспечения безопасности экипажа при освоении Луны в дополнение к существующим методам натурного эксперимента и КИЭ с участием испытателей-добровольцев предлагается использовать модели имитационного моделирования с участием робототехнических систем, позволяющие изучать в широком диапазоне начальных условий варианты развития нештатных ситуаций.

3. Существенным условием развития технологий космической робототехники остается антропоцентрическая направленность исследований надежности человеческого звена по дистанционному контролю и управлению роботами. Это положение существенно и для создания моделей в лабораторных условиях, и в планируемых КЭ на МКС как современном полигоне для испытания новых решений. В качестве прототипа для отработки конкретных форм взаимодействия в системе «человек – робот» в статье предложено рассматривать КЭ «Пилот-Т».

*Работа поддержана темой РАН № 63.2 «Исследование интегративных процессов в центральной нервной системе, закономерностей поведения и деятельности человека в условиях автономности и под влиянием других экстремальных факторов среды» и темой государственного задания Минобрнауки РФ № 25.8444.2017/БЧ.*

### Список литературы

1. Крючков Б.И., Михайлюк М.В., Усов В.М. Технологии моделирования для эргономического проектирования системы «космонавт – манипуляционный робот – рабочая среда» // Материалы конф. «Управление в морских и аэрокосмических системах» (УМАС-2014). СПб., 2014. С. 367–377.

*Kryuchkov B.I., Mikhailyuk M.V., Usov V.M. Modeling technologies for ergonomic design of the system «cosmonaut – manipulation robot – working environment» // Proceedings of the conference «Management in the marine and aerospace systems» (UMAS-2014). St. Petersburg, 2014. P. 367–377.*

2. Крючков Б.И., Усов В.М. Создание моделей виртуальной реальности, как способ обучения космонавтов взаимодействию с роботом-помощником и как условие

определения потенциальных областей его полезного применения // Робототехника и техническая кибернетика. 2013. № 1 (1). С. 46–52.

*Kryuchkov B.M., Usov V.M.* Creation of virtual reality models as a way of training cosmonauts to interact with the robot assistant and as a condition of determining potential areas of its useful application // Robototekhnika i kibernetika. 2013. № 1 (1). P. 46–52.

3. *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 // Там же. С. 42–46.

*Burdiv V.B., Mikhaylyuk M.V., Sokhin G.I., Torgashev M.A.* Using virtual 3D-models for experimental development of on-board flight operations performed using anthropomorphic robots // Ibid. P. 42–46.

4. *Швед Д.М., Гуцин В.И., Бубеев Ю.А. и др.* Основные результаты психофизиологических исследований в эксперименте «Марс-500» // Вестник РАН. 2014. Т. 84. № 3. С. 212–221.

*Swed D.M., Gushchin I.B., Bubeev U.A., Vasil'eva G.Yu. et al.* The main results of psycho-physiological investigations in experiment «Mars-500» // Vestnik RAN. 2014. V. 84. № 3. P. 212–221.

5. *Kryuchkov B.I., Usov V.M., Chertopolokhov V.A. et al.* Simulation of the cosmonaut-robot system interaction on the lunar surface based on methods of machine vision // Int. Arch. of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inf. Sci. 2017. V. 42. № 2-W4. P. 129–133.

6. *Крючков Б.И., Карпов А.А., Усов В.М.* Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики // Труды СПИИРАН. 2014. № 32. С. 125–151.

*Kryuchkov B.I., Karpov A.A., Usov V.M.* Promising approaches to the use of service robots in manned cosmonautics // Trudy SPIIRAN. 2014. № 32. P. 125–151.

7. *Боритко Я.С., Гуцин В.И., Бубеев Ю.А.* Операционные подходы к наземному моделированию длительной экспедиции для изучения индивидуального стиля операторской деятельности в интересах отбора космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. 2018. № 1 (26). С. 56–70.

*Boritko Ya.S., Gushchin V.I., Bubeev Yu.A.* Operational approaches to the ground modeling of a long expedition to study the individual style of an operator activity in the interests of the cosmonauts' selection // Pilotiruemye polety v kosmos. 2018. № 1 (26). P. 56–70.

8. *Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Гуцин В.И., Боритко Я.С.* К проекту освоения Луны: некоторые инженерно-психологические и медицинские проблемы // Космическая техника и технологии. 2015. № 3 (10). С. 68–80.

*Ushakov I.B., Bubeev Yu.A., Gushchin V.I., Boritko Ya.S.* To the project exploration of the moon: some engineering and psychological and medical problems // Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii. 2015. № 3 (10). P. 68–80.

9. *Крикалев С.К., Крючков Б.И., Курицын А.А., Харламов М.М.* Эксперименты с участием экипажей МКС

в интересах осуществления полета на Марс // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 6. Ч. 2. С. 278–287.

*Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A., Kharlamov M.M.* Experiments with the participation of the ISS crews in the implementation of the flight to Mars // Izvestiya Tul'skogo gosuniversiteta. Tekhnicheskie nauki. 2013. Is. 6. Part 2. P. 278–287.

10. *Сергеев А.В., Гук М.Ю.* Управление мобильным роботом космического назначения с применением виртуальной реальности и силомоментного оцувствления // Пилотируемые полеты в космос. 2018. Вып. 4. С. 44–52.

*Sergeev A.V., Guk M.Yu.* Control of a space mobile robot using virtual reality and force-moment perception // Pilotiruemye polety v kosmos. 2018. Is. 4. P. 44–52.

11. *Заборовский В.С., Кондратьев А.С., Силиненко А.В. и др.* Удаленное управление робототехническими объектами в космических экспериментах серии «Контур» // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2012. № 6 (162). С. 23–32.

*Zaborovskiy V.S., Kondratyev A.S., Silinenko A.V. et al.* Remote control of robotic objects in space experiments of the Contour series // Scientific and technical sheets of SPb SPU. Informatics. Telecommunications. Management. 2012. № 6 (162). P. 23–32.

12. *Гребенщиков А.В., Сапрыкин О.А.* Космический эксперимент «ТЕЛЕДРОИД»: «Исследование возможностей использования дистанционно управляемого антропоморфного робота для операционной поддержки деятельности космонавтов в условиях орбитального полета». [Электронный ресурс]. URL: [knts.tsniimash.ru/ru/src/Conf\\_InfRes/ГРЕБЕНЩИКОВ\\_А\\_В-пер.pdf](https://knts.tsniimash.ru/ru/src/Conf_InfRes/ГРЕБЕНЩИКОВ_А_В-пер.pdf). (Дата обращения: 10.02.2019).

*Grebenshchikov A.V., Saprykin O.A.* The Space experiment «TELEDROID»: «A Study of the possibilities of using remote-controlled anthropomorphic robot for operational support activities of cosmonauts under conditions of orbital flight». [Electronic resource]. URL: [knts.tsniimash.ru/ru/src/Conf\\_InfRes/ГРЕБЕНЩИКОВ\\_А\\_В-пер.pdf](https://knts.tsniimash.ru/ru/src/Conf_InfRes/ГРЕБЕНЩИКОВ_А_В-пер.pdf). (Application date: 10.02.2019).

13. *Сергеев С.Ф.* Человеческий фактор в самолетах 6-го поколения: проблемы техносимбиоза // Механика, автоматизация, управление. 2018. Т. 19. № 12. С. 806–811.

*Sergeev S.F.* The human factor in the aircraft of the 6th generation: problems of technosymbiosis // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2018. V. 19. № 12. P. 806–811.

14. *Сальницкий В.П., Мясников В.И., Бобров А.Ф. и др.* Исследование надежности деятельности космонавта на различных этапах длительного космического полета (эксперимент «Пилот») // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. Т. 2. Медико-биологические эксперименты. М., 2002. С. 285–300.

*Salnitsky V.P., Myasnikov V.I., Bobrov A.F. et al.* The research of reliability of the activity of cosmonauts at various stages of a long space flight (experiment «Pilot») // The orbital station «Mir». Space biology and medicine. V. 2. Medical and biological experiments. Moscow, 2002. P. 285–300.



15. Сальницкий В.П., Бронников С.В., Городецкий И.Г. Психодиагностический комплекс-тренажер для оценки и прогнозирования надежности профессиональной деятельности космонавта // Приборы. 2008. № 4. С. 23–28.
- Salnitsky V.P., Bronnikov S.V., Gorodetsky I.G. The psychodiagnostic complex-simulator for evaluation and prediction of reliability of the professional activity of a cosmonaut // Pribory. 2008. № 4. P. 23–28.
16. Счастливец Д.В., Котровская Т.И., Бубеев Ю.А. и др. Анализ данных эргатической системы при выполнении космонавтами имитационных задач их профессиональной деятельности во время длительного космического полета // Междунар. конф. «Пилотируемое освоение космоса». М., 2016. С. 115.
- Shastlivtseva D.V., Kotrovskaya T.I., Bubeev Yu.A. et al. The analysis of the data of the ergatic system when cosmonauts perform simulation tasks of their professional activities during the long space flights // International conference «Manned space exploration»: Abstract book. Moscow, 2016. P. 115.
17. Завалова Н.Д., Лапа В.В., Пономаренко В.А. Методологические вопросы анализа познавательных процессов оператора в критических ситуациях // Вопросы кибернетики. Проблемы измерения психических характеристик человека в познавательных процессах. М., 1980. С. 132–148.
- Zavalova N.D., Lapa V.V., Ponomarenko V.A. Methodological issues of the analysis of cognitive processes of the operator in critical situations // Questions of cybernetics. Problems of measurement of human mental characteristics in cognitive processes. Moscow, 1980. P. 132–148.
18. Завалова Н.Д., Пономаренко В.А. О методологических основах изучения ошибочных действий человека, управляющего летательным аппаратом // Деятельность космонавта в полете и повышение ее эффективности / Г.Т. Береговой, Л.С. Хачатурьянц, ред. М., 1981. С. 100–116.
- Zavalova N.D., Ponomarenko V.A. About the methodological foundations of the study of erroneous actions of the person operating the aircraft // The activities of the cosmonaut in the flight and enhancing its effectiveness / G.T. Beregovoy, L.S. Khachaturyantz, ed. Moscow, 1981. P. 100–116.
19. Зиньковская С.М. Психологические аспекты подготовки летчиков к действиям в особых ситуациях // Педагогическое образование. 2009. № 4. С. 83–90.
- Zinkovskaya S.M. Psychological aspects of training pilots to act in special situations // Pedagogicheskoe obrasovanie. 2009. № 4. P. 83–90.
20. Endsley M.R. Measurement of situation awareness in dynamic systems // Human Factors. 1995. V. 37. P. 65–84.
21. Stanton N., Chambers P., Piggott J. Situational awareness and safety // Safety Sci. 2001. № 39 (3). P. 189–204.
22. Vu K.-P., Chiappe D. Situation awareness in human systems integration // APA handbooks in psychology / D.A. Boehm-Davis, F.T. Durso, J.D. Lee, eds. Washington, 2015. P. 293–308.
23. Интегрированная система отображения информации космического корабля «Союз-ТМА» и пульт ручного контура управления Российского сегмента МКС «Альфа». [Электронный ресурс]. URL: <http://astronaut.ru/bookcase/article/ar151.htm>. (Дата обращения: 18.02.2019).
- The Integrated information and control system of the «Soyuz-TMA» spacecraft and the control console of the manual control loop of the Russian segment of the ISS «Alfa» [Electronic resource]. URL: <http://astronaut.ru/bookcase/article/ar151.htm>. (Application date: 02.18.2019).
24. Тяпченко Ю.А. Системы отображения информации типа «Нептун» космических аппаратов «Союз-Т», «Союз-ТМ». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/publications/neptun\\_1.pdf](http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/publications/neptun_1.pdf). (Дата обращения: 18.02.2019).
- Tyapchenko Yu.A. The information display System of the «Neptune» spacecraft «Soyuz-T», «Soyuz-TM». [Electronic resource]. URL: [http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/publications/neptun\\_1.pdf](http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/publications/neptun_1.pdf). (Application date: 18.02. 2019).
25. Желтов С.Ю., Федун Б.Е. Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня: решение задачи оперативного целеполагания на борту антропоцентрического объекта // Матер. 10-й Всерос. мультikonф. МКПУ-2017: В 3 т. Т. 1. Ростов-на-Дону, 2017. С. 129–133.
- Zheltoy S.Yu., Fedunov B.E. On-board intelligence systems to tactical levels: the decision of tasks of operational objectives on Board of anthropocentric object // Proc. of 10th Russian Conference. ICPU-2017: In 3 v. V. 1. Rostov-on-Don, 2017. P. 129–133.
26. Кадыргулов Р.А., Потапов Н.С. Системы улучшенной визуализации // Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования: Сб. ст. по мат. XII Междунар. студенческой науч.-практ. конф. № 6 (41). [Электронный ресурс]. URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/6\(41\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/6(41).pdf). (Дата обращения: 20.02.2019).
- Kadyrgulov R.A., Potapov N.S. Systems of improved visualization // Scientific community of students: Interdisciplinary research: XII International Science Conf. № 6 (41). [Electronic resource]. URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/6\(41\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/6(41).pdf). (Application date: 20.02.2019).
27. Желтов С.Ю., Выголов О.В., Визильтер Ю.В. Авиационные системы улучшенного и синтезированного видения закабинного пространства // Полет. 2013. № 1. С. 33–39.
- Zheltoy S.Yu., Vygolov O.V., Vizilter Yu.V. The Aviation system, enhanced and synthetic vision outside of space // Polet. 2013. № 1. P. 33–39.
28. Грановская Р.М. Элементы практической психологии // Основные характеристики восприятия. 2-е изд. – Л., 1988. С. 20–24.
- Granovskaya R.M. Elements of practical psychology // Basic characteristics of perception. 2nd ed. Leningrad, 1988. P. 20–24.
29. Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А. Образ в системе психической регуляции деятельности. М., 1986.

Zavalova N.D., Lomov B.F., Ponomarenko V.A. Image in the system of mental regulation of activity. Moscow, 1986.

30. Сыркин Л.Д., Усов В.М., Крючков Б.И., Ворона А.А. Эргономические аспекты синтеза систем отображения внешней обстановки оператору при дистанционном управлении автономными мобильными роботами // Кибернетика и программирование. 2016. № 3. С. 76–92. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.3.18804. [Электронный ресурс]. URL: [http://e-notabene.ru/kp/article\\_18804.html](http://e-notabene.ru/kp/article_18804.html) (Дата обращения: 20.02.2019).

Syrkin L.D., Usov V.M., Kryuchkov B.I., Vorona A.A. Ergonomic aspects of synthesis of systems of display of the external environment to the operator using the remote control Autonomous mobile robots // Kibernetika i programmirovaniye. 2016. № 3. P. 76–92. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.3.18804. [Electronic resource]. URL: [http://e-notabene.ru/kp/article\\_18804.html](http://e-notabene.ru/kp/article_18804.html). (Application date: 20.02.2019).

31. Давыдов В.В., Иванов А.И., Лапа В.В. и др. Проблема использования электронных пилотажных дисплеев в системе отображения информации вертолетов // Сб. МАЧАК. 2007. № 3 (26). С. 40–50.

Davydov V.V., Ivanov A.I., Lapa V.V. et al. The problem of the use of electronic flight displays in the system display information helicopters // Sbornik MASHAK. 2007. № 3 (26). P. 40–50.

32. Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Бортовые средства отображения информации современных пилотируемых летательных аппаратов // Современные технологии / С.А. Козлов, В.Л. Ткалич, ред. СПб., 2004. С. 154–165.

Koporsky N.S., Vidin B.V., Zharinov I.O. On-board means of information display of modern manned aircraft // Modern technology / S.A. Kozlov, V.L. Tklich, eds. St. Petersburg, 2004. P. 154–165.

33. Маркелов В.В., Костишин М.О., Жаринов И.О. и др. Принципы индикации маршрутных траекторий полета летательного аппарата на экране бортовых средств отображения информации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 1 (101). С. 96–107.

Markelov V.V., Kostishin M.O., Zharinov I.O. et al. The Principles of indication of route flight trajectories of the aircraft on the screen of on-board information display facilities // Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. 2016. Vol. 16. № 1 (101). P. 96–107.

34. Дмитриева М.А., Крылов А.А., Нафтельев А.И. Психология труда и инженерная психология. Л., 1979.

Dmitrieva M.A., Krylov A.A., Nafteliyev A.I. Psychology of labor and engineering psychology. Leningrad, 1979.

35. Корнилов Ю.К., Владимиров И.Ю., Коровкин С.Ю. Современные теории мышления: Учеб. пос. Ярославль, 2011.

Kornilov Yu.K., Vladimirov I.Yu., Korovkin S.Yu. The modern theories of thinking: Textbook. Yaroslavl, 2011.

36. Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система «GLView» визуализации для моделирующих комплексов и систем виртуальной реальности // Вестник РАЕН. 2011. Т. 11. № 2. С. 20–28.

Mihaylyuk M.V., Torgashev M.A. The visualization system «GLView» for modeling complexes and systems of virtual reality // Vestnik RAEN. 2011. V. 11. № 2. P. 20–28.

37. Ермолов И.Л., Никитин В.Н., Собольников С.А. Интерактивный тренажер для операторов мобильных роботов с элементами актуальной адаптации // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 9. С. 45–51.

Ermolov I.L., Nikitin V.N., Sobolnikov S.A. The Interactive simulator for mobile robot operators with elements of actual adaptation // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2010. № 9. P. 45–51.

38. Uhlig Th., Roshani Fr.-C., Amodio C. et al. ISS emergency scenarios and a virtual training simulator for Flight Controllers // Acta Astronaut. 2016. № 128. P. 513–520. DOI: 10.1016/j.actaastro.2016.08.001.

39. Онуфриенко Ю.И., Алтунин А.А., Долгов П.П. и др. Направления применения компьютерного моделирования при подготовке космонавтов к ВКД // Пилотируемые полеты в космос: Матер. XII Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 219–221.

Onufrienko Yu.I., Altunin A.A., Dolgov P.P. et al. The areas of application of the computer simulation in the training of cosmonauts to EVA // Manned space missions: Proc. of the XII International scientific-practical conference. 2017. P. 219–221.

40. Юсупов Р.М., Крючков Б.И., Карпов А.А. и др. Возможности применения многомодальных интерфейсов на пилотируемом космическом комплексе для поддержания коммуникации космонавтов с мобильным роботом-помощником экипажа // Пилотируемые полеты в космос. 2013. Вып. 3. С. 23–34.

Yusupov R.M., Kryuchkov B.I., Karpov A.A. et al. The possibility of using multimodal interfaces on a manned space complex to maintain communication between astronauts and a mobile robot – crew assistant // Pilotiruemye polety v kosmos. 2013. Is. 3. P. 23–34.

Поступила 01.08.2019

## **RESULTS OF SPACE EXPERIMENT PILOT-T SIMULATING THE HUMAN-ROBOT INTERACTIONS ON THE LUNAR SURFACE**

**Bubeev Yu.A.<sup>1</sup>, Usov V.M.<sup>1,2</sup>, Sergeev S.F.<sup>2</sup>,  
Kriuchkov B.I.<sup>3</sup>, Mikhailiuk M.V.<sup>4</sup>, Johannes B.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>2</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

<sup>3</sup>Yu.A. Gagarin research & test cosmonaut training center, Moscow region

<sup>4</sup>Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>5</sup>German Aerospace Center (DLR), Institute of Aerospace Medicine, Cologne, Germany

*The article discusses the possibility of using existing psycho-diagnostic stands as prototypes for the development of computer modeling stands (CMS). Presented as a prototype, on-board simulator «Pilot-T», designed for space experiments on orbital stations. CMS are necessary for modern ergonomic projects in the field of extreme robotics and the study of the psycho-physiological capabilities of a human operator in his interaction with robots in extreme conditions. The article deals with modeling of interaction between cosmonauts and autonomous mobile robots on the surface of the moon.*

Key words: human-robot interaction, lunar rover, group of autonomous mobile robots, computer modeling stand (CMS), virtual reality (VR).

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2019. V. 53. № 7. P. 65–75.