

А. И. Мотиенко, науч. сотр., канд. техн. наук, anna.gunchenko@gmail.com,

А. Л. Ронжин, зам. директора, д-р техн. наук, проф., ronzhin@iiias.spb.su,
ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации
Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербург,

А. А. Алтунин, зам. начальника управления, a.altunin@gctc.ru,

Б. И. Крючков, гл. науч. сотр., д-р техн. наук, b.kryuchkov@gctc.ru,

В. М. Усов, гл. науч. сотр., д-р мед. наук, проф., v.usov@gctc.ru,

ФГБУ "Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина"
(НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина), Звездный городок, Московская область

Эвакуация космонавта в скафандре во время внекорабельной деятельности на поверхности Луны с участием аварийно-спасательных роботов

Рассматривается использование автономных мобильных роботов (АМР) в будущих пилотируемых полетах для оказания необходимой помощи экипажу, когда возникает нарушение состояния работоспособности космонавта в скафандре на поверхности Луны. В работе делается попытка распространить опыт применения аварийно-спасательных роботов в экстремальных условиях на Земле на ситуацию применения робота-спасателя при внекорабельной деятельности (ВКД) на лунной поверхности.

Ключевые слова: автономные мобильные роботы, внекорабельная деятельность (ВКД) на Луне, космический скафандр, нарушение работоспособности космонавта, робот-спасатель

Введение

Проблемы спасения людей в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) и на поле боя стимулировали интерес к применению беспилотных роботов-спасателей и роботизированных транспортных платформ (с системой жизнеобеспечения и транспортировки) на этапах поиска, спасения и эвакуации, а также дистанционно управляемых роботизированных систем (РТС) для своевременной диагностики и выполнения необходимых манипуляций в объеме первой помощи. Сегодня в технологически развитых странах мира существует ряд успешных научно-технических проектов в рамках перспективных программ создания РТС в различных областях медицины, однако необходимы дополнительные усилия для практического внедрения РТС в условиях экстремальной среды для спасения лиц опасных профессий, которые подвергаются наибольшему риску при выполнении своей профессиональной деятельности. Непредвиденные и нештатные ситуации, которые приводят к предпосылкам или к возникновению самих ЧС в таких областях, как авиация, космонавтика, морские подводные испытания и др., вызывают большой негативный

общественный резонанс, а потери высококлассных специалистов, профессиональная подготовка которых длится годами, а опыт — бесценен, часто не могут быть компенсированы в сжатые сроки. Из этого следует необходимость разработки новых подходов к организации и техническому обеспечению работ по спасению и эвакуации лиц опасных профессий в экстремальной среде.

Для перспективных программ освоения Луны актуален вопрос использования при внекорабельной деятельности (ВКД) мобильного робота, который способен в пределах определенного диапазона условий к выполнению в автономном режиме навигации в сложной обстановке. Предполагается, что помимо работы в автономном режиме автономный мобильный робот (АМР) может взаимодействовать с космонавтом на поверхности Луны в режиме "Следуй за Мной" (Ведущий/Ведомый), чтобы обеспечить выполнение некоторых ассистивных функций. В их число могут входить переноска груза и инструментов, а также поддержка коммуникаций между участниками ВКД. Сложность дистанционного взаимодействия участников ВКД с АМР и построения обратной связи для космонавта-диспетчера в лунном аппарате о ходе ВКД, состоянии

работоспособности космонавта "на выходе" и о состоянии окружающей среды требуют разработки средств информационного обеспечения с применением ряда современных информационных технологий [1–2]. Самые большие трудности возникают в случае отказа системы жизнеобеспечения скафандра и/или потери работоспособности космонавта в скафандре. Они связаны с проблемой спасения и эвакуации космонавта в скафандре с поверхности в лунный аппарат. Эти вопросы высокоактуальны, но недостаточно освещены в современной литературе и требуют исследования с учетом имеющихся наземных прототипов и опыта обеспечения безопасности ВКД при ее моделировании на наземных стендах и в реальных пилотируемых полетах на МКС.

Современное состояние и перспективы применения роботов-спасателей для спасения и эвакуации лиц опасных профессий

▲ Опыт построения и применения аварийно-спасательных роботов в наземных условиях

Сегодня имеется определенный опыт создания роботов для выполнения аварийно-спасательных работ, и объем публикаций на эту тему продолжает расти [3–7]. Анализ показывает, что базовые подходы и решения в области наземного применения роботов-спасателей "в натуральных условиях" по ряду причин не однородны. Во многом эти решения диктуются условиями применения: характером рельефа, составом почвы, возможностями использования различных средств позиционирования и навигации, связи, протяженностью маршрутов между этапами эвакуации и др. На наш взгляд, при выборе путей создания и применения роботов для спасения лиц опасных профессий надо начинать с конкретизации тех рисков и угроз, которые непосредственно вытекают из характера решаемых задач. В работе [3] систематизированы виды спасательных работ в зонах ЧС, для которых необходимо изыскивать дополнительные ресурсы, в том числе посредством использования АМР при проведении эвакуационных мероприятий.

Сегодня в области создания аварийно-спасательных роботов усилия в основном концентрируются в направлениях создания дистанционно управляемых роботов:

1) ориентированных на работу в первой стадии ликвидации последствий ЧС, а именно на общую разведку/оценку обстановки на месте ЧС, расчистку завалов, прокладку проходов и трасс для других роботов и людей-спасателей (проект ICARUS) [7];

2) действующих на второй стадии ликвидации последствий ЧС, когда требуется осуществить поиск, спасение и транспортировку пострадавших лиц [8, 9].

На этой стадии необходимы следующие классы специализированных роботов:

- роботы, ориентированные на проникновение в труднодоступные помещения через лазы и проходы;

- роботы, способные открывать двери, закрытые на замки, и передвигаться по пожарным лестницам для проведения срочных аварийных работ [4];
- специализированные роботы для оказания первой помощи и транспортировки пораженных в безопасное место.

Можно с уверенностью говорить о том, что фактор проектирования взаимодействия людей и роботов при проведении операций спасения и эвакуации в дальнейшем будет играть все более значимую роль. По этому признаку можно выделить роботов, ориентированных в перспективе на полностью автономные действия без прямого участия человека-оператора (ЧО) в месте дислокации робота [5]. Робот при этом должен иметь высокоразвитые функции сенсорики для адаптации к сложной рабочей среде (проект ATLAS).

При выборе способа, средств и положений, в которых будут транспортироваться пораженные, ведущую роль играют виды травм, их локализация, состояние человека, характер поражения. Важным элементом транспортировки является выбор оптимальной позы пораженного. В работе [8] систематизированы данные о модели определения позы пораженного при транспортировке с учетом характера полученных травм и его общего состояния.

Если обратиться к выбору конструкции и функциональности робота, перспективного для планетарного применения, то по результатам проведенного в работах [4–7, 9–14] анализа, а также на основе многочисленных электронных публикаций можно выделить несколько удачных и апробированных на практике конструкций.

Следует особо подчеркнуть, что большое внимание уделяется дистанционно управляемым роботам с участием группы специалистов-операторов, принимающих решения, а также роботам, способным воспроизводить тонко координированные действия, связанные с химическим, биологическим и радиационным анализом образцов на месте катастрофы (проект HUBO) [14].

Среди наиболее часто цитируемых разработок, в первую очередь, заслуживает упоминания ассистивная робототехническая система для эвакуации (в русскоязычной литературе: робот-санитар) BEAR (англ.: Battlefield Extraction-Assist Robot) [11, 12]. В планы разработчиков входит улучшение способности BEAR обрабатывать высокоуровневые команды, улучшение его навигационной системы и его способности адаптации к окружающей среде [11]. Возможно, полезным дополнением к этому роботу мог бы стать змеевидный диагностический робот-манипулятор, который исследователи из американского университета Карнеги-Меллон разработали для помощи медицинскому персоналу в ходе визуального дистанционного обследования раненого непосредственно на поле боя [13]. Управление таким "кинематически избыточным манипулятором" осуществляется дистанционно, с помощью джойстика. Устройство включает в себя множество

шарниров и может изгибаться в разных направлениях для выполнения различных медицинских операций. Известны технические решения по включению такого манипулятора в состав роботизированных носилок (платформы), что позволяет надеяться на более широкое применение роботизированных систем при решении вопросов медицинской эвакуации.

К упомянутому выше роботу BEAR близок по конструкции и назначению Robosue — робот, разработанный фирмой Kikuchi Manufacturing (Япония). Кроме выше приведенных вариантов мобильных роботов на гусеничном ходу необходимо отметить большой интерес к созданию антропоморфных моделей, построенных на различных принципах передвижения, включая двуногую ходьбу (зарубежные роботы SHIMR, HUBO, Atlas [14, 15]). В целом, можно полагать, что среди множества современных робототехнических средств, разрабатываемых применительно к экстремальным условиям, особое место занимают мобильные роботы. Широкий спектр их функциональных возможностей, постоянная готовность к применению делают их привлекательными для служб экстренного реагирования.

Резюмируя сказанное, можно констатировать, что сегодня существуют наземные прототипы РТС для разработки робота-спасателя применительно к эвакуации на поверхности Луны космонавтов в скафандре в лунный аппарат в случае нештатной ВКД. Одновременно надо принимать во внимание существующие отличия земных условий и условий на поверхности Луны, так как для человека эта необычная среда обитания несет новые риски для жизни и здоровья. Кроме того, высокая сложность ВКД требует особых мер безопасности и специальной организации коммуникации участников ВКД. Частично эти вопросы будут освещены в следующем разделе.

▲ *Опыт подготовки космонавтов к проведению спасательных работ в ходе ВКД с эвакуацией пострадавшего космонавта в скафандре*

ВКД относится к одному из самых ответственных видов полетных операций. Она требует слаженной работы экипажа, строгого выполнения требований безопасности работ, навыков выполнения спасательных работ и экстренной эвакуации. При разработке новых предложений к вариантам реализации ВКД, в частности на лунной поверхности, необходимо учитывать многолетний опыт подготовки космонавтов к работе в скафандре, к выживанию в разных климатогеографических зонах, к выполнению неотложных медицинских мероприятий на борту космического аппарата и, наконец, опыт ВКД на орбитальных станциях. В частности, при планировании ВКД на МКС большое внимание уделяется соблюдению требований по временным ограничениям, связанным с необходимостью обеспечения возвращения неработоспособного оператора (НРО) в шлюзовую отсек. Если ориентироваться на технические характеристики современных космических скафандров, то для кос-

монавта предусмотрен определенный резерв времени (до получаса), в течение которого он будет иметь достаточный объем газовой смеси для дыхания. Однако это не снимает остроту проблемы, особенно в аспектах возможного нарушения герметичности скафандра, даже при незначительной утечке газа, и потери сознания по ряду других возможных причин.

Операция по транспортировке НРО является обязательной для отработки всеми космонавтами при прохождении курса профессиональной подготовки. Подготовка по данной операции проводится в гидролаборатории и на специализированном тренажере "Выход-2". Она направлена на формирование у человека-оператора (ЧО) устойчивых навыков по безопасному перемещению НРО по внешней поверхности станции в шлюзовой отсек российского сегмента МКС, с постоянным контролем за рабочими параметрами скафандров. Для этого случая вводится понятие "нештатная ситуация" (далее — НшС), которая может возникнуть при неисправности систем скафандра, не позволяющей далее выполнять задачи ВКД, и при ухудшении самочувствия ЧО из экипажа "Выхода". Необходимо отметить, что операция по транспортировке НРО относится к числу наиболее трудных, требует больших затрат времени, которые в условиях на лунной поверхности могут существенно возрастать. Это означает, что применение робота-спасателя может быть единственным приемлемым выходом в сложившейся ситуации.

В заключение можно отметить, что не все выявленные на сегодня в ходе ВКД на МКС особенности могут быть перенесены в вариант ВКД на поверхности Луны и на аналогичные НшС.

Ограниченность движений рук в скафандре, ограниченная зона обзора из шлема современного скафандра вносят дополнительные трудности и при работе на МКС, но скафандр спроектирован таким образом, что космонавт хорошо видит рабочую зону в пределах досягаемости рук, а обзор наблюдаемого через остекление шлема пространства позволяет вести пространственную ориентировку. Есть основания говорить о том, что ограничения подвижности и обзора в скафандре могут стать более серьезным помеховым фактором для ВКД на лунной поверхности, особенно в плане ведения пространственной ориентировки и навигации.

▲ *Перспективы применения аварийно-спасательных роботов на Луне: возможности и принципы их применения на лунной поверхности в ходе ВКД*

При проведении "выходов" на поверхность Луны операции по транспортировке НРО не теряют своей актуальности и будут связаны с необходимостью перемещения НРО по поверхности планеты к шлюзовому отсеку. В данном случае потребуются помощь АМР и применение роботизированных устройств с запасами для системы обеспечения жизнедеятельности. Такие устройства могут быть как специального назначения, так и универсальные, спроектированные для транспортировки НРО.

Универсальные устройства предпочтительнее, так как их использование позволит решать основные задачи по исследованию планеты, а задачи по транспортировке НРО в данном случае будут дополнительными.

Эргономические исследования по использованию универсального напланетного ровера для транспортировки НРО были проведены NASA в процессе выполнения программы NEEMO [10].

При разработке требований к способам эвакуации космонавта в скафандре с лунной поверхности полезно обратиться к практике обеспечения безопасности при приземлении спускаемого аппарата (СА). Эвакуация космонавтов после приземления СА представляет собой сложную операцию, к выполнению которой привлекаются значительные силы и средства специализированных подразделений. Этот этап является ответственным и в медицинских аспектах. Комплекс послеполетных изменений в организме человека может отрицательно сказаться на работоспособности и психофизиологических возможностях космонавтов при необходимости самостоятельно (автономно) выживать после приземления. Наиболее остро эта проблема может проявиться в случаях нештатных и аварийных посадок (приводнений) СА вне расчетных районов, приземления в труднодоступных местах, вдали от населенных пунктов. Тем более важно так построить эвакуацию и в таком объеме предусмотреть оснащение робота-спасателя, чтобы обеспечить сохранность витальных функций организма до момента завершения транспортировки.

Необходимо отбирать потенциально пригодные решения для адаптации существующих наземных РТС к условиям освоения человеком Луны по следующим отличительным признакам:

1) массогабаритные характеристики, грузоподъемность, устойчивость к опрокидыванию при переноске грузов, сопоставимых по массе с массой робота;

2) возможности передвижения по пересеченной местности и различным по плотности почвам, возможности маневра, возможности преодоления естественных и искусственных препятствий;

3) возможности захвата и удержания предметов различной формы, жесткости. Способ захвата тела человека и погрузки на платформу робота или перенос "на руках" робота;

4) возможности позиционирования и навигации в условиях освоения Луны, использования электронных карт и дистанционно задаваемых команд на виды маневров от человека-оператора;

5) возможности трекинга подвижных объектов, определения расстояний, распознавания ориентиров и характерных объектов с помощью компьютерного зрения робота;

6) возможности организации человеко-машинного взаимодействия, применения многомодальных интерфейсов для дистанционного управления роботом, возможности бесконтактных видов управления с применением технологий виртуальной

реальности, возможности построения расширенной и улучшенной визуальной обратной связи;

7) возможность выполнения тонких манипуляций в копирующем режиме и копирующего режима следования за человеком при перемещении "в паре".

Заключение

В данной статье представлены контуры возможного построения взаимодействия людей и роботов в составе команды, которые могут улучшить проведение мероприятий по организации спасения и эвакуации космонавта, работающего в скафандре на лунной поверхности.

По результатам анализа существующих наземных прототипов и опыта выполнения ВКД в пилотируемых полетах на орбитальных станциях можно сделать определенные выводы.

Первый вывод заключается в том, что необходимо выбрать такие формы взаимодействия в смешанной команде космонавтов и роботов, которые позволяют избежать коллизий и принятия разнонаправленных управленческих решений по причине нарушения коммуникации. Эти вопросы носят общий характер применительно к разработке большого класса АМР применительно к перспективным проектам выполнения лунных миссий.

Второй вывод вытекает из наличия технологий экстремальной робототехники для поддержки мероприятий при проведении аварийно-спасательных работ на Земле и состоит в том, что сегодня накоплен весомый опыт успешного построения транспортных эвакуационных средств для применения в полевых условиях, который позволяет их адаптировать для работы в области пилотируемой космонавтики при освоении Луны.

Третий вывод базируется на обширном опыте профессиональной подготовки космонавтов к выполнению силами экипажа на орбите операций по спасению и доставке в шлюзовую камеру космического аппарата неработоспособного космонавта при условии его пребывания в скафандре и необходимости выполнения эвакуационных мероприятий в пределах лимита времени, определяемого запасами дыхательной смеси в системе обеспечения жизнедеятельности. Отработанные приемы при тренировках космонавтов на выживание в экстремальной среде (моделируемые на Земле) и меры обеспечения безопасности должны быть учтены при разработке алгоритмов выполнения операций спасения дистанционно управляемым роботом. Опыт информационного обеспечения таких тренировок должен быть творчески переработан при построении системы информационного обеспечения космонавта — диспетчера, руководящего ходом ВКД из лунного аппарата, с учетом существенного ограничения поддержки с Земли.

Четвертый вывод вытекает из особенностей пребывания космонавтов в экстремальной среде на лунной поверхности, когда нарушение функционирования систем скафандра и/или его поврежде-

ние создает исключительно неблагоприятные условия для выживания человека. Это означает необходимость поиска решений, позволяющих оснастить робот-спасатель средствами дублирования систем жизнеобеспечения для замещения этих средств в составе скафандра, а также средствами обработки телеметрической информации на случай сбоя коммуникации между космонавтом "на выходе" и космонавтом-диспетчером в лунном аппарате. Эти решения могут помочь ускорить принятие решений космонавтом-диспетчером относительно приведения в готовность медико-технических средств оказания неотложной медицинской помощи на борту лунного аппарата после доставки к лунному аппарату неработоспособного космонавта.

Пятый вывод базируется на опыте современной телемедицины, который свидетельствует о широких возможностях информационной поддержки принятия медицинских решений о проведении неотложных медицинских мероприятий на борту космического аппарата в условиях сниженной поддержки с Земли при условии построения соответствующих ассистивных технологий и обучения персонала действиям в особых случаях полета.

Список литературы

1. **Крючков Б. И., Усов В. М., Карпов А. А.** Онтологический подход к построению интерактивной виртуальной среды для визуального представления планируемых действий при диалоговом управлении роботом-помощником космонавта на МКС // Матер. VI междунар. науч.-техн. конф. "Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем" (OSTIS-2016). Минск: БГУИР, 2016. С. 477—482.
2. **Крючков Б. И., Михайлюк М. В., Усов В. М.** Технологии моделирования для эргономического проектирования системы "космонавт — манипуляционный робот — рабочая среда" // Матер. конф. "Управление в морских и аэрокосмических сис-

темах" (УМАС-2014). СПб.: ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электрон", 2014. С. 367—377.

3. **Мотненко А. И., Ронжин А. Л., Павлюк Н. А.** Современные разработки аварийно-спасательных роботов: возможности и принципы их применения // Научный вестник НГТУ. 2015. Т. 60, № 3. С. 147—165.

4. **Haynes G. C.** et al. Developing a Robust Disaster Response Robot: CHIMP and the Robotics Challenge // Journal of Field Robotics. 2017. V. 34, N. 2. P. 281—304.

5. **Kuindersma S.** et al. Optimization-based locomotion planning, estimation, and control design for the Atlas humanoid robot // Autonomous Robots. 2016. V. 40, N. 3. P. 429—455.

6. **Liu J., Zhang X., Hao G.** Survey on research and development of reconfigurable modular robots // Advances in Mechanical Engineering. 2016. V. 8, N. 8. P. 1—21. DOI: 10.1177/1687814016659597.

7. **Marques M. M.** et al. Use of multi-domain robots in search and rescue operations — Contributions of the ICARUS team to the euRathlon 2015 challenge // OCEANS 2016-Shanghai. IEEE. 2016. P. 1—7.

8. **Motienko A. I., Ronzhin A. L., Basov O. O., Zelezny M.** Modeling of Injured Position During Transportation Based on Bayesian Belief Networks // Proc. of the First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (ITI'16). 2016. P. 81—88.

9. **Murphy R. R.** et al. Search and rescue robotics // Springer Handbook of Robotics. 2008. P. 1151—1173.

10. **NASA Analog Mission (NEEMO).** URL: <http://www.lpi.usra.edu/lunar/strategies/NASA-Analog-Missions-NP-2011-06-395.pdf> (дата обращения 02.05.2017).

11. **Theobald D., Allen T.** Apparatus with hydraulic power module. U. S. Patent No. 9387895. 2016. URL: <https://www.google.com/patents/US9387895> (дата обращения 21.02.2017).

12. **Theobald D.** Mobile reconfigurable robot. U. S. Patent No. 8106616. 2012. URL: <http://www.google.com/patents/US8106616> (дата обращения 21.02.2017).

13. **Walker I. D., Choset H., Chirikjian G. S.** Snake-Like and Continuum Robots // Springer Handbook of Robotics. 2016. P. 481—498.

14. **Zhang Y.** et al. Motion planning and control of ladder climbing on DRC-Hubo for DARPA Robotics Challenge // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014). 2014. P. 2086.

15. **Zucker M.** et al. A General-purpose System for Teleoperation of the DRC-HUBO Humanoid Robot // Journal of Field Robotics. 2015. V. 32, N. 3. P. 336—351.

An Evacuation of a Cosmonaut in a Spacesuit During Extravehicular Activity on the Lunar Surface with Assistance of Rescue Robots

A. I. Motienko, anna.gunchenko@gmail.com✉, **A. L. Ronzhin**, ronzhin@iiias.spb.su,
St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS),
Saint-Petersburg, 199178, Russian Federation,
A. A. Altunin, a.altunin@gctc.ru, **B. I. Kryuchkov**, b.kryuchkov@gctc.ru, **V. M. Usov**, v.usov@gctc.ru,
State Organization "Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center"
Star city, Moscow region, Russian Federation

Corresponding author: Motienko Anna I., Ph. D., Researcher,
St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy
of Sciences (SPIIRAS), Saint-Petersburg, 199178, Russian Federation
e-mail: anna.gunchenko@gmail.com

Accepted on August 07, 2017

Today, in technologically advanced countries there are a number of scientific and technical projects to create robotic systems (RS) in various fields of medicine. The additional efforts are wanted for their practical introduction in the extreme environment, in particular, for the rescue of persons of hazardous occupations, which are most at risk when performing their professional activities. In future lunar missions, the particular attention will be necessary for assistance a crew during extravehicular activity (EVA) on the moon's surface. EVA is one of the most important types of flight's operations and requires strict fulfilling the safety requirements, when fulfilling rescue operations in emergency evacuation with using of Autonomous Mobile Robots (AMR). To select potentially suitable solutions to adapt existing land-based rescue robots to the conditions of human exploration of the Moon, it is necessary to turn an attention to the a couple of important characteristics, such as: the weight and size, the load

capacity, resistance to overturning when carrying loads comparable in mass with the mass of the robot, off-road capability across rough terrain with various densities of soil, the natural "Human Robot Interaction" on base of multimodal interfaces for remote robot control, and others. The paper gives the general representation of the problem situations on the lunar surface, when a crew in autonomy conditions has great difficulties, that are connected with the rescue and evacuation of a cosmonaut during EVA into the Lunar Lander in case of crashing the spacesuit's life support system and/or the loss of performance by a cosmonaut.

Keywords: Autonomous Mobile Robots (AMR), extra-vehicular activity (EVA) on lunar surface, space suit, disorganization of cosmonaut's performance, rescue robots

For citation:

Motienko A. I., Ronzhin A. L., Altunin A. A., Kryuchkov B. I., Usov V. M. An Evacuation of a Cosmonaut in a Spacesuit During Extravehicular Activity on the Lunar Surface with Assistance of Rescue Robots, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no 11, pp. 734—739.

DOI: 10.17587/mau.18.734-739

References

1. **Krjuchkov B. I., Usov V. M., Karpov A. A.** *Ontologicheskij podhod k postroeniju interaktivnoj virtual'noj sredy dlja vizual'nogo predstavlenija planiruemih dejstvij pri dialogovom upravlenii robotom-pomoshhnikom kosmonavta na MKS* (An Ontological approach to build interactive virtual environments for the visual representation of the planned action, when control of a cosmonaut's robot assistant on the ISS in dialog interaction), *Proc. of the VI Intern. scientific.-tech. Conf. "Open semantic technology of intelligent systems" (OSTIS-2016)*, Minsk, BSUIR, 2016, pp. 477—482 (in Russian).

2. **Krjuchkov B. I., Mihajljuk M. V., Usov V. M.** *Tehnologii modelirovaniya dlja jergonomicheskogo proektirovaniya sistemy "kosmonavt — manipulyacionnyj robot — rabochaja sreda"* (Information Technology for ergonomic system "Cosmonaut — Manipulation robot — Working environment" design), *Materials of conference "Management in the marine and aerospace systems" (BUTTER-2014)*, SPb., JSC "Concern "CRI "Electropribor", 2014, pp. 367—377 (in Russian).

3. **Motienko A. I., Ronzhin A. L., Pavljuk N. A.** *Sovremennye razrabotki avarijno-spasatel'nyh robotov: vozmozhnosti i principy ih primeneniya* (The modern development of rescue robots, opportunities and principles of their application), *Nauchnyj Vestnik NGTU*, 2015, vol. 60, no. 3, pp. 147—165 (in Russian).

4. **Haynes G. C.** et al. Developing a Robust Disaster Response Robot: CHIMP and the Robotics Challenge, *Journal of Field Robotics*, 2017, vol. 34, no. 2, pp. 281—304.

5. **Kuindersma S.** et al. Optimization-based locomotion planning, estimation, and control design for the Atlas humanoid robot, *Autonomous Robots*, 2016, vol. 40, no. 3, pp. 429—455.

6. **Liu J., Zhang X., Hao G.** Survey on research and development of reconfigurable modular robots, *Advances in Mechanical Engineering*, 2016, vol. 8, no. 8, pp. 1—21, DOI: 10.1177/1687814016659597.

7. **Marques M. M.** et al. Use of multi-domain robots in search and rescue operations—Contributions of the ICARUS team to the euRathlon 2015 challenge, *OCEANS 2016-Shanghai. IEEE*, 2016, pp. 1—7.

8. **Motienko A. I., Ronzhin A. L., Basov O. O., Zelezny M.** Modeling of Injured Position During Transportation Based on Bayesian Belief Networks, *Proceedings of the First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'16)*, 2016, pp. 81—88.

9. **Murphy R. R.** et al. Search and rescue robotics, Springer Handbook of Robotics, 2008, pp. 1151—1173.

10. **NASA Analog Mission (NEEMO)**, available at: <http://www.lpi.usra.edu/lunar/strategies/NASA-Analog-Missions-NP-2011-06-395.pdf> (accessed: 02.05.2017).

11. **Theobald D., Allen T.** Apparatus with hydraulic power module. U. S. Patent No. 9387895. 2016, available at: <https://www.google.com/patents/US9387895> (accessed: 21.02.2017).

12. **Theobald D.** Mobile reconfigurable robot. U. S. Patent No. 8106616. 2012, available at: <http://www.google.com/patents/US8106616> (accessed: 21.02.2017).

13. **Walker I. D., Choset H., Chirikjian G. S.** Snake-Like and Continuum Robots, Springer Handbook of Robotics, 2016, pp. 481—498.

14. **Zhang Y.** et al. Motion planning and control of ladder climbing on DRC-Hubo for DARPA Robotics Challenge, *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014)*, 2014, pp. 2086.

15. **Zucker M.** et al. A General-purpose System for Teleoperation of the DRC-HUBO Humanoid Robot, *Journal of Field Robotics*, 2015, vol. 32, no. 3, pp. 336—351.

УДК 621.865.8-5

DOI: 10.17587/mau.18.739-744

А. Г. Лесков, д-р техн. наук, профессор, директор, agleskov@rambler.ru,

Е. В. Селиверстова, инженер, feoktistovaev@mail.ru,

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (Дмитровский филиал)

Алгоритм планирования и выбора способа захвата деформируемого объекта многопалым захватным устройством манипуляционного робота

Рассмотрен алгоритм выбора способа захвата деформируемого объекта с учетом минимизации контактных сил. Отличительные особенности алгоритма — учет изменения формы поверхности объекта и смещения его центра масс, вызванных деформацией объекта в процессе захвата и выполнения манипуляционной задачи, и проверка на достижимость желаемого положения объекта на этапе планирования захвата.

Ключевые слова: симулятор захвата, планирование захвата, деформируемый объект, контактные силы, выбор способа захвата, достижимость, устойчивость

Введение. Главное достоинство робототехнических систем — возможность выполнения задач ловкого манипулирования с объектами при достаточном удалении человека от операционной зоны. Особенно актуальными являются вопросы роботизации операций при работе с взрывоопасными объектами, представляющими угрозу для жизни и здоровья человека.

На данный момент роботизированные операции с взрывоопасными объектами реализуются за