

А.В. ВАСИЛЬЕВ, А.С. КОНДРАТЬЕВ, А.А. ГРАДОВЦЕВ, И.Ю. ДАЛЯЕВ
**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОГО ОБЛИКА
МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ НА
ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ**

Васильев А.В., Кондратьев А.С., Градовцев А.А., Дальяев И.Ю. **Исследование и разработка проектного облика мобильной робототехнической системы для проведения геологической разведки на поверхности луны.**

Аннотация. Объектом исследования является мобильная робототехническая система (МРТС) для проведения геологической разведки на поверхности Луны. Цель работы — определение технического облика и тактико-технических характеристик МРТС, оснащенной каротажно-буровой установкой, исследование сценариев применения МРТС в ходе проведения геологической разведки на поверхности Луны. Результаты исследования могут быть полезны в ходе дальнейших работ по разработке МРТС для проведения геологической разведки на поверхности Луны, а также при проведении работ по другим видам напланетных робототехнических и транспортных средств, предназначенных для работы на поверхности Луны и Марса.

Ключевые слова: Мобильная робототехническая система, геологическая разведка на поверхности Луны, исследовательский луноход, робот-геолог, каротажно-буровая установка, манипуляционная система, отбор проб грунта, научные исследования на поверхности Луны.

Vasiliev A.V., Kondratyev A.S., Gradovtsev A.A., Dabyaev I.Yu. **Research and Development of Design Shape of a Mobile Robotic System for Geological Exploration on the Moon's Surface.**

Abstract. The object of research is a mobile robot system (MRTS) for geological exploration on the lunar surface. The aim of the project is to define a technical appearance and performance characteristics of MRTS, equipped with a drilling rig, and to study scenarios of application of MRTS in the course of geological exploration on the lunar surface. The findings could be useful for further development of MRTS for geological exploration on the Moon's surface as well as for works dedicated to other types of on-planet and robotic vehicles designed to run on the surface of the Moon and Mars.

Keywords: Mobile robotic system; geological exploration on the Moon surface; research moon rover; robot-geologist; drilling rig; manipulation system; ground sampling; scientific studies on the Moon surface.

1. Введение. Исследование и освоение ресурсов Луны является одной из первоочередных задач по изучению космического пространства. Луна — наиболее близкое к Земле крупное небесное тело, источник важных природных ресурсов, уникальная база для проведения астрофизических и других научных исследований, а в перспективе может рассматриваться как опорный пункт для дальних пилотируемых космических путешествий [1, 2]. Усилия, направленные на планомерное освоение Луны, наращиваются космическими агентствами ведущих стран мира [3-5]. Проекты изучения Луны разрабатываются и в России в рамках ФКП 2016-2025 [6-7].

Особую роль на всех этапах освоения Луны будут играть мобильные робототехнические системы (МРТС), способные выполнять транспортные, научные и ряд других задач на ее поверхности. Первые этапы будут осуществляться с помощью только автоматических аппаратов, последующие — с использованием автоматических и пилотируемых луноходов.

Просматривается следующий типоразмерный ряд напланетных транспортных средств, которые будут востребованы в ходе предварительных исследований Луны, развертывания и последующей поддержки функционирования инфраструктуры перспективной лунной базы (ЛБ) [2]:

- ♦ исследовательский луноход (тематическая геологическая и геохимическая съемка в ходе исследовательского поисково-разведочного маршрута с целью определения оптимальных мест размещения лунной инфраструктуры);

- ♦ рабочий луноход (технологические и манипуляционные работы по обслуживанию инфраструктуры ЛБ на этапе ее формирования и дальнейшей эксплуатации, транспортные задачи по перевозке грузов и космонавтов на небольшие расстояния (грузоподъемность лунохода до 500 кг или 810 Н в условиях лунной гравитации)) [8];

- ♦ тяжелый транспортный луноход для перемещения модулей будущей ЛБ и транспортировки космонавтов внутри защищенной герметизированной кабины в течение длительного времени (автономное проживание экипажа из 2-3 человек до 5 суток) [2].

Важным этапом освоения Луны должны стать исследования на ее поверхности с помощью сети стационарных и самоходных научных станций [1, 9, 10]. Проведение тематической геологической съемки и предварительной геологической разведки является важным и необходимым этапом освоения Луны, который должен дать не только обширную научную информацию, но и предоставить сведения, необходимые для оптимального размещения долговременной или периодически обитаемой ЛБ и развертывания первичной промышленной инфраструктуры [1].

Одним из важнейших методов геологической разведки является колонковое бурение, позволяющее произвести прямое измерение мощности реголита [9-11]. Геологическую разведку на поверхности Луны этим методом предполагается осуществлять как с помощью стационарных платформ (при исследованиях в относительно однородных с геоморфологической точки зрения областях), так и с помощью самоходных аппаратов — МРТС, оснащенных буровой установкой. Применение последних наиболее целесообразно в областях, характеризующихся значительной геологической неоднородностью вдоль маршрута движения [1, 10].

2. Направление исследования. В настоящей работе исследуются пути создания МРТС, предназначенной для проведения геологической разведки на поверхности Луны с помощью каротажно-буровой установки (КБУ), а также посредством широкого спектра научных исследований вдоль предполагаемого маршрута. Комплексные исследования в этом направлении проводятся специалистами ГЕОХИ РАН и ГНЦ ЦНИИ РТК при поддержке ФГУП ЦНИИмаш [10, 12-14].

Рассматриваются несколько вариантов возможных маршрутов движения такой МРТС. Перечень необходимых научных исследований в наиболее интересных с геологической точки зрения областях Луны предложен учеными-геологами из ГЕОХИ РАН и предполагает выполнение МРТС следующих функций:

- ◆ передвижение вдоль маршрута протяженностью до 400-500 км;
- ◆ бурение нескольких скважин (до 5) глубиной до 3-6 м с отбором непрерывных колонок лунного грунта с сохранением их полной стратификации;
- ◆ отбор с поверхности Луны образцов лунного грунта в виде фрагментов поверхностного слоя реголита и небольших камней;
- ◆ проведение активных сейсмических исследований (АСИ) с подрывом зарядов ВВ;
- ◆ проведение широкого спектра научных исследований (гравиметрии, магнитометрии, спектрометрии, активные и пассивные сейсмические исследования и др.);
- ◆ развертывание на месте одной из скважин долговременной автоматической научной станции (АНС);
- ◆ доставка и перегрузка собранных образцов общей массой до 100 кг на лунный взлетно-посадочный комплекс (ЛВПК), ожидающий МРТС в одной из промежуточных или в конечной точке маршрута.

Перечисленные функции являются исходными данными для формирования предварительного проектного облика перспективной МРТС. При этом под термином «проектный облик» подразумевается не только общий технический облик системы, принципиальные технические решения по ее составу и устройству, но также и сценарии ее функционирования в ходе проведения упомянутых исследований.

Важная и необходимая особенность геологических исследований с помощью МРТС — доставка отобранных образцов грунта на Землю, что является ключевым моментом предстоящих миссий, несмотря на то, что часть экспресс-исследований предполагается проводить в том числе *in situ* [14].

Актуальность проблемы создания МРТС. Совокупность предъявляемых к МРТС требований наделяет ее рядом уникальных особен-

ностей. Обзор созданных ранее и разрабатываемых в настоящее время стационарных и самоходных аппаратов, оснащенных буровыми установками для проведения исследований на поверхности других небесных тел [12, 15-18], показывает, что аналогов рассматриваемой МРТС не существует. Текущие исследования, проводимые за рубежом по схожим направлениям, во многом ограничены и предполагают бурение неглубоких скважин, проведение краткосрочных миссий с охватом небольших с геологической точки зрения областей (т.е. ограничены по протяженности и продолжительности исследований), не предусматривают доставку образцов грунта на Землю [16-17].

Также важно отметить, что разрабатываемая концепция геологических исследований на поверхности Луны с помощью МРТС учитывает опыт всех предыдущих лунных миссий, как отечественных, так и зарубежных [19].

Создание отечественных напланетных МРТС, оснащенных буровой установкой, позволит:

- ◆ дополнить существующие на текущий момент сведения о строении и происхождении Луны;
- ◆ произвести геологическую разведку и исследование наиболее значимых областей Луны;
- ◆ определить наиболее перспективные районы развертывания временной или постоянно действующей ЛБ, объектов промышленного производства и др.

Постановка задачи исследования. МРТС представляет собой передвижную научно-исследовательскую лабораторию, являясь частью большого комплекса, включающего:

- ◆ МРТС в виде автоматического лунохода, оснащенного КБУ;
- ◆ комплекс информационно-командных каналов связи (ИККС), включающий приемно-передающее оборудование на борту МРТС и в пунктах управления, ретрансляционные станции на поверхности Луны, на лунных орбитальных космических аппаратах (КА) и т.п.;
- ◆ комплекс наземной аппаратуры управления и обработки информации;
- ◆ средства доставки МРТС.

Целью настоящей работы является определение состава МРТС, технического облика и технических требований к ее основным служебным подсистемам. ИККС при этом рассматривается лишь в части, касающейся бортового оборудования МРТС.

Решение задачи определения облика МРТС решается путем проведения проектных работ, включающих:

- ◆ принципиальную конструктивно-компоновочную проработку всех подсистем и узлов МРТС в системе твердотельного САД-моделирования;

- ◆ компьютерное моделирование и расчеты ключевых подсистем МРТС;

- ◆ построение, моделирование и анализ сценариев функционирования МРТС в ходе проведения наиболее значимых операций.

Требования к МРТС. Обоснование требований к составным частям МРТС производится, во-первых, исходя из условий функционирования, во-вторых, исходя из предполагаемых сценариев выполнения поставленных задач.

Условия функционирования МРТС на Луне характеризуются рядом жестких факторов, таких как:

- ◆ отсутствие атмосферы;

- ◆ большие изменения температуры на поверхности (от $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$);

- ◆ пониженная гравитация ($1,62\text{ м/с}^2$);

- ◆ жесткое космическое излучение (радиация);

- ◆ сильная засветка солнечным освещением чувствительных элементов оптических приборов;

- ◆ метеоритная бомбардировка поверхности.

Концепция применения МРТС в соответствии с выводами специалистов ГЕОХИ РАН [10] предполагает ее функционирование в геологических районах с относительно небольшими перепадами высот, что предполагает относительно комфортные условия движения преимущественно по поверхностям с небольшими уклонами. В то же время характерными особенностями рельефа, которые необходимо учитывать, являются россыпи камней и каменные гряды вблизи кратеров. Повышенную опасность представляют отложения рыхлого грунта на склонах кратеров [20-22].

Исходя из проведенного анализа, сформулированы следующие требования по обеспечению подвижности МРТС [13]:

- ◆ передвижение по поверхности Луны с максимальной скоростью на ровной горизонтальной поверхности 5 км/ч ;

- ◆ преодоление уклонов с углом наклона до 20° ;

- ◆ преодоление одиночных препятствий (камней) высотой до $0,25\text{ м}$.

Принципиальное отличие МРТС от всех ранее создававшихся планетоходов состоит в необходимости преодоления пути более чем на порядок превосходящего максимальное расстояние, пройденное земными подвижными аппаратами по поверхности другого небесного

тела [20]. Протяженность предполагаемого маршрута МРТС составляет не менее 400 км. Эта особенность в совокупности с общей спецификой МРТС предопределяет стремление максимально упростить конструкцию шасси с целью обеспечения ее максимальной надежности.

Длительность миссии и беспрецедентная протяженность предполагаемого маршрута также предъявляет особые требования к системе управления МРТС, которая должна обеспечивать помимо дистанционного также автономный режим передвижения с обходом непреодолимых препятствий.

3. Аппаратно-программный комплекс МРТС. Служебные системы МРТС включают: систему передвижения (самоходное шасси), КБУ, манипуляционную систему, систему энергообеспечения, систему терморегулирования, систему управления, систему связи, навигационную систему, систему технического зрения. В качестве полезной нагрузки выступают: комплекс научной аппаратуры (НА), контейнеры для кернов, отобранных из пробуренных скважин, средства хранения и транспортировки проб поверхностного слоя и камней.

Технический облик служебных систем МРТС. Приведем краткие результаты работ по определению проектного облика служебных систем МРТС:

1) шасси МРТС строится на основе шести конструктивно идентичных модулей мотор-колес, которые крепятся к несущей конструкции (раме) лунохода. Каждый модуль представляет собой мотор-колесо, установленное вместе с приводом поворота, посредством рычагов подвески на щите крепления. Выбранная схема шасси обладает рядом значимых для МРТС особенностей, позволяя осуществлять разворот на месте без проскальзывания (зарывания колес в грунт), движение диагональным ходом, а также стояночный режим без применения дополнительных тормозных механизмов — для длительной стоянки или технологических остановок на поверхностях с небольшим уклоном;

2) в качестве основы для построения колесного движителя на данном этапе использованы наработки ВНИИТрансмаш. Колеса МРТС предполагается выполнять в виде металлоупругой конструкции, позволяющей обеспечить требуемые тягово-сцепные свойства;

3) несущая конструкция МРТС включает три основные части: раму, приборный отсек, открытый кузов для размещения автономно работающего выгружаемого на грунт научного оборудования. Предварительная оценка массы несущей конструкции составляет 230 кг;

4) КБУ построена на основе автоматической каротажно-буровой машины (КБМ), в качестве прототипа которой использована установка ЛБ-10 [2, 10]. В состав КБУ помимо каротажно-буровой

машины входят: рама с приводом развертывания, механизм прижатия, контейнеры для проб. Масса КБМ – не более 120 кг, масса КБУ в снаряженном состоянии (с незаполненными пробоотборниками) – не более 180 кг;

5) система энергоснабжения строится на основе аккумуляторных батарей (АКБ) и солнечной батареи (СБ). Расчетная энергоемкость системы составляет 13,25 кВт·ч. Время автономной работы между циклами полного заряда АКБ — 20 ч из расчета непрерывного движения при переходе от одной точки научного интереса к другой длительностью до 10 ч со средней скоростью от 2,5 до 3,0 км/ч (расстояние между точками от 25 до 30 км) и проведения цикла научных исследований на остановках общей длительностью до 10 ч. Перед функционированием КБУ должен быть проведен полный заряд АКБ. Время заряда АКБ от СБ не более 20 ч. Возможна частичная подзарядка АКБ от СБ и от радиоизотопного термоэлектрогенератора (РИТЭГ) во время выполнения фаз движения МРТС и проведения научных исследований на стоянке. Во время лунной ночи МРТС находится в спящем режиме с минимальным энергопотреблением (не более 120 Вт, обеспечиваемых РИТЭГ). Это обусловлено тем, что требование обеспечения полной работоспособности МРТС в течение лунной ночи вызовет неоправданный рост энергоемкости и веса системы энергоснабжения;

6) манипуляционная система МРТС включает шестистепенной манипулятор и магазин сменного инструмента. Манипулятор выполняет: функции поддержки научных исследований, проводимых МРТС в ходе геологической разведки на поверхности Луны; погрузочно-разгрузочные операции; вспомогательные задачи по поддержанию функционирования МРТС и обслуживанию ее отдельных узлов. Выполнение всего спектра задач обеспечивается кинематической схемой манипулятора и применением разрабатываемого в ЦНИИ РТК универсального захватного устройства для крепления одного из четырех инструментов. Грузоподъемность манипулятора составляет 20 кг (32 Н) на вылете 3 м. Контроль рабочей зоны обеспечивается двумя типами телекамер: рабочего поля манипулятора (общее целеуказание и поддержка научных исследований) и рабочей зоны инструмента (детальный контроль операций). С целью изучения минералогического состава реголита и целеуказания на манипуляторе устанавливается инфракрасный спектрометр, размещаемый вместе с двумя телекамерами рабочего поля в отдельном оптическом блоке (ОБМ);

7) комплекс информационных систем лунохода объединяет все измерительные системы МРТС и служит для сбора, преобразования первичной информации с датчиков и выдачи массивов информации с

частотой, обеспечившей безопасность движения таких систем как: система передвижения, манипуляционная система, КБУ. Основными задачами комплекса являются: обеспечение безаварийной работы МРТС, сбор и передача информации о характеристиках взаимодействия МРТС с внешней средой;

8) система навигации обеспечивает локализацию МРТС в пространстве и формирование глобальных и локальных траекторий движения, благодаря применению дублированных каналов получения навигационных данных, используя следующие приборы: радиомаяк, БИНС, астронавигационный датчик, солнечный датчик положения, точный датчик Солнца;

9) СТЗ МРТС состоит из двух подсистем: ближнего и дальнего действия. Система детектирования препятствий в ближней зоне служит для освещения круговой обстановки в непосредственной близости от МРТС — на расстояниях от 0 до 2 м, и основывается на принципе работы систем реконструкции мертвых зон автомобиля, базирующихся на использовании телевизионных камер со сверхширокоугольными объективами («рыбий глаз»). Система детектирования препятствий в дальней зоне работает на дальностях от 2 до 12 м. Эта система основывается на применении комплекса, включающего панорамный ТВ-стерео спектрометр, навигационные камеры и блок детектирования препятствий в дальней зоне, состоящий из расположенных с вертикальной базой источника лазерной структурированной подсветки в виде сканирующей линии и телекамеры. Ожидаемые характеристики разрешающей способности системы составляют от 1 мм до нескольких сантиметров на расстояниях от 1 до 10 м соответственно;

10) система управления МРТС строится на основе дублированной БЦВМ, конструктивно объединенной вместе с блоками управления подсистемами лунохода и блоками силовой автоматики исполнительных устройств в блок управления МРТС;

11) система терморегулирования МРТС гибридного типа (с активными и пассивными элементами) строится на основе системы с жидким рабочим телом. В качестве активных элементов системы выступает блок обогрева МРТС на основе РИТЭГ, горячий и холодный контуры с активной циркуляцией теплоносителя через радиаторные блоки приборов (ватерблоки), локальные электронагреватели. К пассивным средствам относятся: ЭВТИ, нанесение покрытий с соответствующими оптическими коэффициентами на наружные поверхности, создание локальных «тепловых мостов». Эффективная площадь радиатора системы составляет $3,2 \text{ м}^2$ ($2,1 \text{ м}^2$ конструктивно) при мощности тепловыделения до 1700 Вт;

12) система связи МРТС включает радиокomплекс с несколькими каналами с возможностью работы как напрямую с Землей, так и через ретрансляционные орбитальные КА с пропускной способностью до 1 Гбит/с (при работе в сверхвысоких диапазонах частот). Предполагается возможным оснащение МРТС системой перспективной космической оптической связи с пропускной способностью до 6 Гбит/с.

Комплекс научной аппаратуры. Сформирован предполагаемый технический облик и разработаны 3D модели комплекса НА МРТС в составе:

- ◆ комплект для пяти АСИ;
- ◆ магнитометр;
- ◆ гравиметр;
- ◆ георадар;
- ◆ газоанализатор;
- ◆ гамма-спектрометр, нейтронный детектор и импульсный нейтронный генератор (один прибор в двухблочном исполнении);
- ◆ радиометр;
- ◆ лазерный уголкового отражатель;
- ◆ инфракрасный спектрометр;
- ◆ стереопара из двух телекамер рабочего поля манипулятора;
- ◆ комплект АНС.

Дополнительно функции научного оборудования выполняют приборы:

- ◆ радиомаяк, включенный в состав навигационного комплекса МРТС;
- ◆ ТВ-спектрометр, входящий в состав СТЗ.

Также сформирован технический облик устройства для загрузки и хранения отобранных проб грунта. Проведена компоновка всего комплекса НА на борту МРТС. Суммарная масса комплекса НА составляет около 200 кг

Сценарии функционирования МРТС. Разработаны и исследованы компьютерные 3D сценарии функционирования МРТС и ее основных подсистем при проведении геологической разведки на поверхности Луны:

- ◆ бурение скважины и проведение каротажных исследований с помощью КБУ;
- ◆ отбор проб поверхностного слоя реголита с помощью манипулятора;
- ◆ отбор фрагментов обломочных материалов (небольших камней) с поверхности Луны с помощью манипулятора;

- ◆ укладка собранных проб в контейнеры;
- ◆ перегрузка контейнеров с пробами на ЛВПК в конечной точке маршрута;
- ◆ проведение на поверхности Луны экспериментов по АСИ;
- ◆ развертывание на поверхности Луны АНС долговременного действия;
- ◆ выполнение манипулятором вспомогательных задач по обслуживанию систем МРТС.

Разработаны анимационные схемы сценариев и подробные алгоритмы действий при проведении АСИ и развертывании на поверхности Луны модулей АНС.

4. Заключение. В результате исследований сформирован проектный облик перспективной МРТС для геологической разведки на поверхности Луны, определены ТТХ и ТТ к МРТС и ее основным подсистемам [12].

Сформирован проект массовой сводки МРТС. Расчетная масса МРТС составила 1385 кг без учета перевозимого комплекта проб грунта общей массой 100 кг.

Результаты настоящего исследования могут быть использованы в ходе продолжения проектных работ по созданию МРТС.

Отдельно стоит отметить, что мобильная платформа МРТС, разработанная в настоящем проекте, может служить основой и для других луноходов схожего типоразмера, например, — для МРТС, предназначенной для решения задач по обслуживанию элементов инфраструктуры перспективной ЛБ, исследованию проектного облика которой была посвящена работа [8], выполненная ранее в ЦНИИ РТК.

Продолжение проектных работ по созданию МРТС для функционирования на поверхности Луны предполагает кооперацию большого числа научно-исследовательских и проектных организаций, производственных центров [12]. Выполненные проектные исследования по формированию предварительного облика системы показали необходимость проведения НИОКР практически по всем составным частям и приборам МРТС.

Литература

1. Фундаментальные космические исследования. Кн.2: Солнечная система / под научн. ред. Р.Р. Райкунова. // М.: ФИЗМАТЛИТ. 2014. 456 с.
2. Луна — шаг к технологиям освоения Солнечной системы / под научн. ред. В.П. Легостаева и В.А. Лопоты. // М: Энергия. 2011. 584 с.
3. Гендиректор ЕКА поделился планами о строительстве деревни на Луне URL: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=2709509> (дата обращения 01.02.2016).

4. Chinese Lunar Exploration Program. China National Space Administration. URL: <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/pres/copuos2014/tech-06.pdf> (дата обращения 01.02.2016).
5. Россия и Китай встретятся на Луне в ближайшее время. URL: <http://www.pravda.ru/news/science/15-01-2016/1288974-zajzev-0/> (дата обращения 01.02.2016).
6. Комаров: до полета на Марс Россия намерена построить базу на Луне. URL: <http://ria.ru/space/20151228/1350539455.html> (дата обращения 01.02.2016).
7. "Роскосмос": проекты изучения Луны с помощью автоматов остались в ФКП. URL: <http://ria.ru/space/20151229/1350953314.html> (дата обращения 01.02.2016).
8. Разработка проектного облика мобильного грузового манипулятора для обслуживания элементов инфраструктуры напланетной (лунной) базы: отчет о НИР (заключ.) // ЦНИИ РТК. 2013. 212 с.
9. Слюта Е.Н., Абдрахимов А.М. Инициативный проект создания опорной сети каротажных буровых скважин и долговременных автоматических мини-станций на Луне // Труды международной конференции «Планетоходы и исследование небесных тел». СПб. 2007. С. 45–48.
10. Обоснование и разработка рекомендаций по созданию сети опорных каротажно-буровых скважин ... Разработка рекомендаций по рациональному сочетанию и взаимодействию стационарных автоматических посадочных аппаратов и тяжелых поисково-разведочных луноходов с буровой установкой для исследования и освоения Луны с участием пилотируемых аппаратов: отчет о НИР (заключ.) // ГЕОХИ РАН. 2013. 154 с.
11. Drilling in Extreme Environments. Penetration and Sampling on Earth and other Planets / Edited by Y. Bar-Cohen, K. Zacny; with a forward by H.H. Schmitt, W.D. Carrier // WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA. 2009. 767 p.
12. Проектно-поисковые исследования по определению технического облика и тактико-технических характеристик мобильной робототехнической системы для проведения геологической разведки на поверхности Луны. Разработка предложений в проект ТЗ на ОКР по созданию мобильной робототехнической системы: отчет о НИР (заключ.) // ЦНИИ РТК. 2015. 303 с.
13. Васильев А.В. Обоснование требований к мобильной робототехнической системе для геологической разведки на поверхности Луны // Экстремальная робототехника: Труды международной научно-технической конференции. СПб: Политехника-сервис, 2015. С. 186–191.
14. Котляр П. Россия запустит луноход-интеллектуал. URL: http://www.gazeta.ru/science/2015/11/23_a_7904099.shtml (дата обращения 23.11.2015).
15. Young A.H. Lunar and Planetary Rovers. The wheels of Apollo and the Quest for Mars // Springer, Praxis Publishing, 2007. 393 p.
16. Bartlett P., Wettergreen D., Whittaker W.L. Design of the Scarab Rover for Mobility and Drilling in the Lunar Cold Traps // International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space. 2008. URL: http://www.ri.cmu.edu/pub_files/2009/1/09aiaa_scarab.pdf (дата обращения 01.02.2016).
17. RESOLVE. Lunar Ice/Volatile Payload Development And Field Test Status // Presentation to LEAG. 2012. URL: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/leag2012/presentations/Sanders.pdf> (дата обращения 01.02.2016).
18. Крылов И. «Нефритовый заяц» рассказал о Луне // Дата публикации 23.12.2015. URL: http://www.gazeta.ru/science/2015/12/23_a_7985801.shtml (дата обращения 01.02.2016).

19. Формирование концепции и разработка программы фундаментальных исследований и практического освоения Луны на период 2020-2030 гг... : отчет о НИР (заключ.) // ГЕОХИ РАН. М. 2015. 135 с.
20. Кемурджиан А.Л. и др. Планетоходы / под ред. А.Л. Кемурджиана. 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Машиностроение. 1993. 400 с.
21. Передвижная лаборатория на Луне Луноход-1 / под ред. В.Л. Барсукова // М.: Наука. 1978. Т. 2. 184 с.
22. Передвижная лаборатория на Луне Луноход-1 / под ред. А.П. Виноградова // М.: Наука, 1971. Т. 1. 12 с.

References

1. *Fundamental'nye kosmicheskie issledovanija. Kn.2: Solnechnaja sistema* [Fundamental space research. Book 2. Solar system]. Edited by Rykunov R.R. М.: FIZMATLIT. 2014. 456 p.
2. *Luna — shag k tehnologijam osvoenija Solnečnoj sistemy* [The Moon is a step to Solar system exploration]. Edited by V. P. Legostaev, V. A. Lopota. М.: RKK "Energy". 2011. 584 p.
3. Gendirektor EKA podelilsja planami o stroitel'stve derevni na Lune [CEO ESA shared their plans about the construction of the village on the moon]. Available at: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=2709509&cid=2161> (accessed: 01.02.2016).
4. Chinese Lunar Exploration Program China National Space Administration. Available at: <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/pres/copuos2014/tech-06.pdf> (accessed: 01.02.2016).
5. Rossiya i Kitaj vstretjatsja na Lune v blizhajshee vremja [Russia and China will meet on the Moon in the near future]. Available at: <http://http://www.pravda.ru/news/science/15-01-2016/1288974-zajzev-0/> (accessed: 01.02.2016).
6. Komarov: do poleta na Mars Rossiya namerena postroit' bazu na Lune [Komarov: to fly to Mars Russia intends to build a base on the moon]. Available at: <http://ria.ru/space/20151228/1350539455.html> (accessed: 01.02.2016).
7. "Roskosmos": proekty izuchenija Luny s pomoshh'ju avtomatov ostalis' v FKP ["Roscosmos": projects exploring the moon with automatic rifles remained in the FSP] Available at: <http://ria.ru/space/20151229/1350953314.html> (accessed: 01.02.2016).
8. *Razrabotka proektnogo oblika mobil'nogo gruzovogo manipulatora dlja obsluzhivanija jelementov infrastruktury naplanetnoj (lunnoj) bazy: otchet o NIR (zakljuch.)* [Development of the design and appearance of the mobile cargo manipulator for maintenance of infrastructure on-planet (moon) base: research reports (enclosed.)]. RTC. SPb. 2013. 212 p.
9. Sluta E. N., Abdrakhimov A. M. [Initiative project creation of a support network logging boreholes and durable automatic mini-stations on the moon]. *Trudy mezhdunarodnoj konferencii «Planetohody i issledovanie nebesnyh tel»* [Proceedings of the international conference "Space rovers and the study of celestial bodies"]. 2007. pp. 45–48.
10. *Obosnovanie i razrabotka rekomendacij po sozdaniju seti opornyh karotazhno-burovyh skvazhin ... Razrabotka rekomendacij po racio-nal'nomu sochetaniju i vzaimodejstviju stacionarnykh avtomaticheskikh posadochnykh apparatov i tjazhelyh poiskovo-razvedochnykh lunohodov s burovoj ustanovkoj dlja issledovanija i osvoenija Luny s uchastiem pi-lotiruemyykh apparatov: otchet o NIR (zakljuch.)* [Substantiation and development of recommendations on creation of the network of logging-boreholes ... to Develop recommendations for the rational combination and interaction of stationary automatic boarding machines and heavy exploration Rovers with drilling unit for research and exploration of the moon involving manned vehicles: research reports (enclosed.)]. GEOKHI RAS. М. 2013. 154 p.

11. Drilling in Extreme Environments. Penetration and Sampling on Earth and other Planets. Edited by Y. Bar-Cohen and K. Zacny; with a forward by H. H. Schmitt, W. D. Carrier. WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA. 2009. 767 p.
12. *Proektno-poiskovye issledovaniya po opredeleniyu tehniceskogo oblika i taktiko-tehnicheskikh harakteristik mobil'noj robototekhnicheskoy sistemy dlja provedeniya geologicheskoy razvedki na poverhnosti Luny. Razrabotka predlozhenij v proekt TZ na OKR po sozdaniyu mobil'noj robototekhnicheskoy sistemy: otchet o NIR (zakljuch.)* [Exploratory design studies to determine the technical layout and performance characteristics of mobile robotic systems for carrying out geological exploration on the moon's surface. Development of proposals in the TOR to create a mobile robotic system: a research report (enclosed.)]. RTC. SPb. 2015. 303 p.
13. Vasilev A. V. [Substantiation of requirements for a mobile robotic system for exploration on the moon's surface]. *Jekstremal'naja robototekhnika: Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* [Extreme robotics: Proceedings of international scientific-technical conference]. SPb: Publishing house "Politehnika-SERVIS". 2015. pp. 186–191.
14. Kotlyar P. Rossiya zapustit lunohod-intellektual [Russia would launch a lunar Rover-the intellectual]. Available at: http://www.gazeta.ru/science/2015/11/23_a_7904099.shtml (accessed: 23.11.2015).
15. Young, A. H. Lunar and Planetary Rovers. The wheels of Apollo and the Quest for Mars. Springer, Praxis Publishing. 2007. 393 p.
16. Bartlett P., Wettergreen D., Whittaker W.L. Design of the Scarab Rover for Mobility and Drilling in the Lunar Cold Traps. International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, 2008. Available at: http://www.ri.cmu.edu/pub_files/2009/1/09aiaa.scarab.pdf (accessed: 01.02.2016).
17. RESOLVE. Lunar Ice/Volatile Payload Development And Field Test Status. Presentation to LEAG. 2012. Available at: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/leag2012/presentations/Sanders.pdf> (accessed: 01.02.2016).
18. Krylov I. «Nefritovyy zajac» rasskazal o Lune ["Yutu" told about the Moon]. Available at: http://www.gazeta.ru/science/2015/12/23_a_7985801.shtml (accessed: 01.02.2016).
19. *Formirovanie koncepcii i razrabotka programmy fundamental'nykh issledovaniy i prakticheskogo osvoeniya Luny na period 2020-2030 gg... : otchet o NIR (zakljuch.)* [The formation of concepts and development programs for fundamental research and practical exploration of the moon for the period of 2020-2030...: research reports (enclosed.)]. GEOKHI RAS. M. 2015. 135 p.
20. Kemurdjian A.L. et al. *Planetohody* [Planetary]. Edited by A. L. Kemurdzhian. 2-e Izd., Rev. and extra. M.: Mashinostroenie, 1993. 400 p.
21. *Peredvizhnaja laboratorija na Lune Lunohod-1* [Mobile laboratory on the Moon Lunokhod-1]. Edited by V. L. Barsukov. M.: Nauka. 1978. vol. 2. 184 p.
22. *Peredvizhnaja laboratorija na Lune Lunohod-1* [Mobile laboratory on the Moon Lunokhod-1]. Edited by A. P. Vinogradov. M.: Nauka. 1971. vol. 1. 128 p.

Васильев Андрей Викторович — ведущий конструктор, Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК). Область научных интересов: робототехника наземного и космического назначения, проектирование мехатронных устройств, приводов робототехнических систем. Число научных публикаций — 35. andrey@rtc.ru, <http://rtc.ru>; Тихорецкий пр., 21, Санкт-Петербург, 194064; п.т.: +7(911) 218-57-17.

Vasiliev Andrey Viktorovich — leading designer, Russian State Scientific Center – Saint-Petersburg «Central Research and Design Institute for Robotics and Technical Cybernetics» (CRDI RTC). Research interests: terrestrial and space robotics; designing of mechatronic devices, drives, robotic systems. The number of publications — 35. andrey@rtc.ru, <http://rtc.ru>; 21, Tichoretsky pr., Saint-Petersburg, 194064, Russia; office phone: +7(911) 218-57-17.

Кондратьев Александр Сергеевич — к-т техн. наук, заместитель директора, Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК). Область научных интересов: космическая робототехника. Число научных публикаций — 10. kondr@rtc.ru; Тихорецкий пр., 21, Санкт-Петербург, 194064; p.t.: +7(812)552-11-50.

Kondratyev Aleksander Sergeevich — Ph.D., deputy director, Russian State Scientific Center – Saint-Petersburg «Central Research and Design Institute for Robotics and Technical Cybernetics» (CRDI RTC). Research interests: space robotics. The number of publications — 10. kondr@rtc.ru; 21, Tichoretsky pr., Saint-Petersburg, 194064, Russia; office phone: +7(812)552-11-50.

Градовцев Алексей Андреевич — заместитель главного конструктора, Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК). Область научных интересов: космическая робототехника. Число научных публикаций — 10. a.gradovtsev@rtc.ru; Тихорецкий пр., 21, Санкт-Петербург, 194064; p.t.: (812)552-60-93.

Gradovtsev Aleksey Andreevich — deputy chief designer, Russian State Scientific Center – Saint-Petersburg «Central Research and Design Institute for Robotics and Technical Cybernetics» (CRDI RTC). Research interests: space robotics. The number of publications — 10. a.gradovtsev@rtc.ru; 21, Tichoretsky pr., Saint-Petersburg, 194064, Russia; office phone: (812)552-60-93.

Даляев Игорь Юрьевич — начальник сектора, Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК). Область научных интересов: космическая робототехника. Число научных публикаций — 27. igor@rtc.ru; Тихорецкий пр., 21, Санкт-Петербург, 194064; p.t.: +7(812)552-60-93.

Dalyaev Igor Yurievich — head of sector, Russian State Scientific Center – Saint-Petersburg «Central Research and Design Institute for Robotics and Technical Cybernetics» (CRDI RTC). Research interests: space robotics. The number of publications — 27. igor@rtc.ru; 21, Tichoretsky pr., Saint-Petersburg, 194064, Russia; office phone: +7(812)552-60-93.

Поддержка исследований. ФГУП ЦНИИмаш; ГЕОХИ РАН.

Acknowledgements. TSNIIMASH; Russian Academy of Sciences GEOHI institute.

РЕФЕРАТ

Васильев А.В., Кондратьев А.С., Градовцев А.А., Далаев И.Ю. **Исследование и разработка проектного облика мобильной робототехнической системы для проведения геологической разведки на поверхности луны.**

Исследуются пути создания мобильной робототехнической системы для геологической разведки на поверхности Луны. Проведение тематической геологической съемки и предварительной геологической разведки является важным и необходимым этапом освоения Луны, который должен дать не только обширную научную информацию, но и предоставить сведения, необходимые для оптимального размещения долговременной или периодически обитаемой лунной базы и развертывания первичной промышленной инфраструктуры на поверхности Луны. Геологическую разведку на поверхности Луны предполагается выполнять методом колонкового бурения, а также посредством широкого спектра научных исследований, как с помощью стационарных научных станций, так и с помощью мобильных аппаратов. Научная программа комплекса таких исследований разработана учеными-геологами из института ГЕОХИ РАН. Целью настоящего проекта, осуществляемого в ЦНИИ РТК, является формирование проектного облика мобильной робототехнической системы, оснащенной каротажно-буровой установкой, манипуляционной системой и комплексом научной аппаратуры, которые необходимы для выполнения предъявляемых к системе требований функционального назначения: маршрут движения протяженностью 400-500 км; бурение в нескольких точках маршрута скважин глубиной 3-6 м с отбором кернов с сохранением их полной стратификации; проведение широкого спектра научных исследований, включая: гравиметрию, магнитометрию, активные и пассивные сейсмические исследования и др.; развертывание на месте одной из скважин научной станции долговременного действия, отбор по ходу движения фрагментов поверхностного слоя реголита и небольших камней; доставка и перегрузка собранных образцов общей массой до 100 кг на лунный взлетно-посадочный комплекс. Кратко излагаются результаты проектных работ и поисковых исследований по формированию предполагаемого проектного облика мобильной робототехнической системы, включающего: ее общий технический облик, принципиальные технические решения по ее составу, устройству и техническому облику всех основных подсистем, сценарии функционирования такого робота-геолога в ходе проведения исследований на поверхности Луны. Работа выполнена при поддержке ФГУП ЦНИИмаш.

SUMMARY

Vasiliev A.V., Kondratyev A.S., Gradovtsev A.A., Dalyaev I.Yu. **Research and Development of Design Shape of a Mobile Robotic System for Geological Exploration on the Moon's Surface.**

Ways of creation of a mobile robotic system for geological investigation on the Moon surface are considered. Thematic geological survey and preliminary geological investigation are an important and necessary stage of the exploration of the Moon, during which not only extensive scientific information is provided, but also the information necessary for optimum placement of a long-term or periodically manned lunar base and for expansion of primary industrial infrastructure on the Moon surface. Geological investigation on the surface of the Moon is supposed to be conducted using a method of column drilling and also by means of a wide range of scientific studies, including with the help of stationary scientific stations and mobile vehicles. The scientific program of such studies is developed by geologists from V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences (GEOHI RAS). The purpose of the present project, which is carried out in Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, is to design a mobile robotic system equipped with the drilling rig, a manipulation system and a complex of the scientific equipment, which are necessary for implementation of requirements of a functional purpose: 400-500 km long route; drilling in several points of a route of wells of 3-6 m in depth with selection of cores with preservation of their full stratification; carrying out a wide range of scientific researches, including: gravimetry, magnetometry, active and passive seismic experiments, etc.; deploying near one of wells of a long-action scientific station, sampling of fragments of regolith's surface and small stones; shipping and handling of collected samples of a total weight of up to 100 kg on the lunar landing complex. The paper briefly discusses the results of design works and research studies on the formation of the estimated design shape of a mobile robotic system which includes its general technical design; basic technical solutions on its structure and technical design of all main subsystems; scenarios of functioning of such a robot-geologist during researches on the Moon surface. The project is supported by the Federal State Unitary Enterprise TsNIIMash.