

УДК 629.369+629.3.032

DOI 10.18698/0536-1044-2017-7-41-50

## Обзор и анализ конструкций движителей для перспективных российских луноходов

В.Н. Наумов<sup>1</sup>, **О.Е. Козлов<sup>2</sup>**, К.Ю. Машков<sup>1</sup>, К.Е. Бяков<sup>1</sup><sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1<sup>2</sup> ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), 117997, Москва, Российская Федерация, Профсоюзная ул., д. 84/32

## Review and Analysis of Chassis for Prospective Russian Lunar Rovers

V.N. Naumov<sup>1</sup>, **O.E. Kozlov<sup>2</sup>**, K.Y. Mashkov<sup>1</sup>, K.E. Byakov<sup>1</sup><sup>1</sup> BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1<sup>2</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution: Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAN), 117997, Moscow, Russian Federation, Profsoyuznaya St., Bldg. 84/32

e-mail: makon111@rambler.ru, konst.byakov@yandex.ru



Приведен подробный анализ конструкций движителей планетоходов, начиная с «Лунохода-1». За прошедшие 50 лет российской космической отрасли достигнуты большие успехи в развитии электроники и автоматики, но и этот существенный прогресс не может обеспечить достаточную проходимость планетоходов. В связи с чем актуальным является вопрос правильного выбора движителя для данных аппаратов. Рассмотрены преимущества и недостатки отдельных узлов жестких колес луноходов. Жесткость колеса обеспечивают упругие элементы, а его стойкость к разрушению — материал обода. Для лунохода ограниченного пробега стойкость колеса к разрушению можно не учитывать, но для космического аппарата с пробегом 400 км этот параметр будет определяющим. Описаны открытые и закрытые конструкции колеса. При движении по неподготовленному грунту большое значение для открытого колеса имеет отношение его ширины к диаметру. Отмечено, что наличие грунтозацепов, их форма, количество и высота значительно влияют на тяговые свойства колеса на грунте. Указаны перспективы создания движителей для современных планетоходов.

**Ключевые слова:** коэффициент буксования, стенд испытания ходовой части, коэффициент тяги, упругие элементы, грунтозацепы колеса



The article presents a detailed analysis of the chassis designs of planetary rovers, starting with the Lunokhod-1. Over the past 50 years the Russian space program has achieved great success in the development of electronics and automation, but even this significant progress cannot provide the necessary cross-country capability of planetary rovers. In this regard, the question of a right choice for the chassis for these vehicles is relevant. In the article, the advantages and disadvantages of individual units of rigid wheels of lunar rovers are considered. The rigidity of the wheel is provided by elastic elements, while the rim material ensures fracture resistance. For a limited-range lunar rover, it is not necessary to take the wheel's fracture resistance into account, but for a lunar rover with a range of 400 km this factor will be the defining value. The authors consider both open and closed wheel designs. When moving on unprepared soil, the ratio of the wheel width to diameter is of great significant for open wheels. It is noted that the presence of lugs, their shape, amount and height considerably influences traction properties of the wheel on soil. The prospects of creating chassis for modern planetary research vehicles are described.

**Keywords:** wheelslip coefficient, chassis testing stand, thrust coefficient, elastic elements, wheel lugs

При проектировании первых луноходов — «Лунохода-1» и LRV — был проведен глубокий анализ возможных типов движителей и в силу массогабаритных ограничений выбраны колесные движители, обеспечивающие достаточные тягово-сцепные качества, профильную и опорную проходимость: для «Лунохода-1» — жесткие колеса, для LRV — металлоэластичные.

В настоящее время в российской космической программе до 2030 г. запланировано создание лунохода массой 20...800 кг и запасом хода 5...400 км, поэтому при проектировании необходимо учесть опыт создания предыдущих аппаратов.

Цель работы — обзор и анализ конструкций колесных движителей планетоходов.

За прошедшие полвека практическая космонавтика добилась больших успехов в развитии электроники и автоматики, что существенно изменило облик космических аппаратов. Все электронные приборы стали существенно легче, снизилось их энергопотребление и тепловыделение, увеличилась удельная емкость аккумуляторных элементов и солнечных батарей. Например, планетоход, по задачам аналогичный «Луноходу-1» и «Луноходу-2», на сегодняшний день будет весить 100...120 кг, т. е. в 7–8 раз меньше, чем его предшественники.

Однако существенный прогресс в развитии и миниатюризации электроники не обеспечи-

вает планетоходу требуемой проходимости, поскольку для заданного типа поверхности она является геометрической характеристикой. «Луноход-1» и «Луноход-2» массой около 800 кг имели колеса диаметром 510 мм, на каждое из которых приходилось 100 кг массы. У планетохода массой 20 кг диаметр колеса будет составлять около 200 мм, а нагрузка на колесо — 4 кг массы. Таким образом, приходящаяся на колесо масса уменьшится почти в 25 раз, а диаметр колеса — только в 2,5 раза.

В 70–80-х годах прошлого столетия в СССР и, в частности в МГТУ им. Н.Э. Баумана, был проведен большой объем исследований по определению влияния конструктивных особенностей колес на их взаимодействие с грунтом и поведения планетохода в целом [1–4]. Эти работы позволили описать взаимовлияние конструктивных параметров колеса и режимов движения на тягово-сцепные характеристики движителя.

Теоретические исследования касались поведения как жесткого колеса на грунте [1, 2], так и металлоупругого [3]. Созданная достаточно полная математическая модель взаимодействия упругого колеса с грунтом в различных режимах движения позволила с высокой степенью точности прогнозировать поведение планетохода при прямолинейном и криволинейном движении на основе тяговых характеристик одиночного колеса [4–6].

При этом учитывались следующие факторы:

- упругие характеристики колеса и грунта как в радиальном направлении [3], так и в произвольном тангенциальном [5];
- экскавационное погружение в процессе взаимодействия грунта с грунтозацепами колеса в зависимости от их высоты, угла и расстояния между ними;
- геометрия продольной линии зоны уплотнения и соответствующей глубины зоны уплотнения.

Учет этих факторов позволил определить реакции грунта в зонах уплотнения, разгрузки и на боковой поверхности в зависимости от угла увода  $\delta$  (рис. 1) и на грунтозацепах в зоне экскавации [5].

Следует отметить, что проводились как теоретические, так и экспериментальные исследования на стенде «грунтовой канал», предназна-

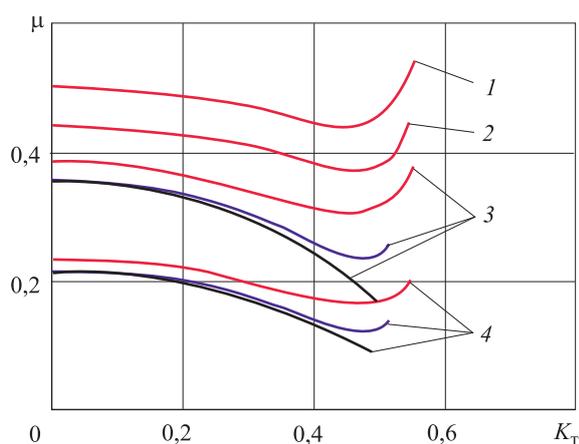


Рис. 1. Зависимость результирующих реакций грунта  $\mu$  от коэффициента тяги  $K_T$  при угле увода  $\delta = 30^\circ$  (1),  $20^\circ$  (2),  $10^\circ$  (3),  $5^\circ$  (4):

- без учета влияния боковин движителя;
- с учетом влияния боковин движителя;
- с учетом влияния боковин движителя и экскавации грунта

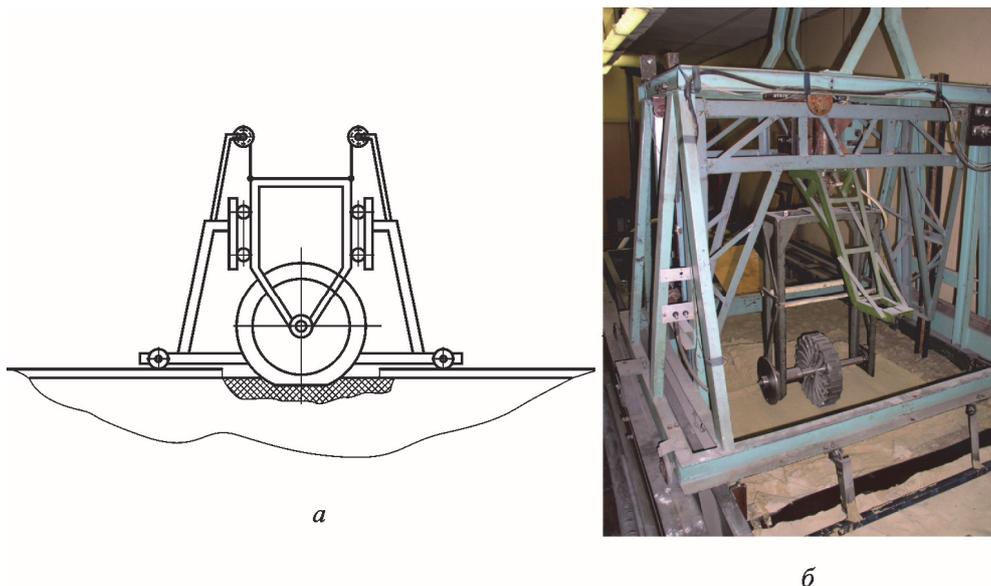


Рис. 2. Схема (а) и внешний вид (б) стенда для испытаний ходовой части

ченном для испытаний ходовой части (рис. 2), где были протестированы около 50 прототипов колесных движителей (ВНИИТрансМаш, НПО им. А.С. Лавочкина, МГТУ им. Н.Э. Баумана) планетоходов, предназначенных для передвижения по Луне и Марсу [7].

В результате были получены тягово-сцепные характеристики, зависимости глубины погружения колес в грунт от коэффициента тяги и др. для различных углов увода и грунтов, в частности, для  $\delta = 3$  и песка (рис. 3).

Проведенные экспериментальные и расчетно-теоретические исследования выявили ряд существенных преимуществ колес с цилиндрической поверхностью перед колесами с тороидальной поверхностью, а также эластичных колес над жесткими по коэффициенту сцепления

с грунтом (в 1,5 раза больше), по сопротивлению качению (в 2–3 раза меньше), сглаживанию ударов и нивелированию преодолеваемых препятствий. Эластичные колесные движители позволяют преодолевать уклоны в 20...25° без существенной экскавации грунта.

Колеса разной формы (цилиндрической или тороидальной) при качении по грунту в свободном режиме (без буксования) оказывают различное воздействие на грунт (рис. 4). При снижении воздействия на грунт уменьшается глубина колеи и сопротивление качению.

Эластичные колеса характеризуются радиальной, боковой и крутильной жесткостями. Наиболее оптимальное колесо должно иметь только радиальную жесткость (податливость).

Жесткость колеса обеспечивается упругими элементами. В последних разработках в качестве таких элементов применяют:

- плоские пружины, деформируемые в продольной плоскости колеса (кольцевые или часть окружности), у которого радиальная и

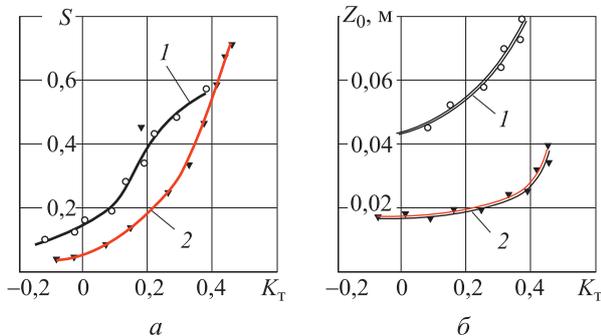


Рис. 3. Зависимости коэффициента буксования  $S$  (а) и глубины  $Z_0$  погружения в песок (б) колес с торообразной (1) и цилиндрической (2) поверхностями от коэффициента тяги  $K_T$  при угле увода  $\delta = 30^\circ$

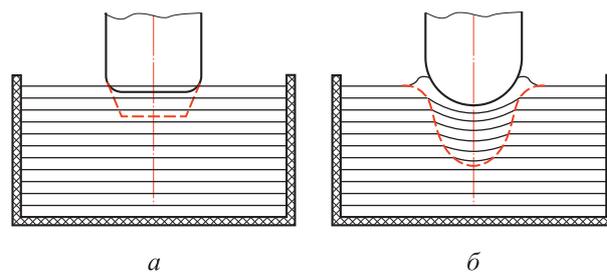


Рис. 4. Схема воздействия цилиндрического (а) и тороидального (б) эластичных колес на грунт

крутильная жесткости будут малы, а боковая — большой;

- плоские пружины, деформируемые в поперечной плоскости колеса (арочные), у которого радиальная и боковая жесткости будут малы, а крутильная — большой;

- сетку, несущую основную нагрузку колеса; у сетчатого колеса радиальная и боковая жесткости будут малы, а крутильная — большой.

Материал обода обеспечивает стойкость колеса к разрушению. Для колес лунохода ограниченного пробега этот параметр можно не учитывать, но для лунохода с пробегом до 400 км он будет определяющим.

Конструкции колес подразделяют на открытые и закрытые. *Открытые колеса* имеют открытый объем между ступицей и ободом, занятый только спицами или упругими элементами. При движении по неподготовленному грунту (лунному или марсианскому) важным параметром открытого колеса становится отношение его ширины к диаметру:

- если оно близко к единице, то грунт, попавший во внутреннюю полость колеса, будет

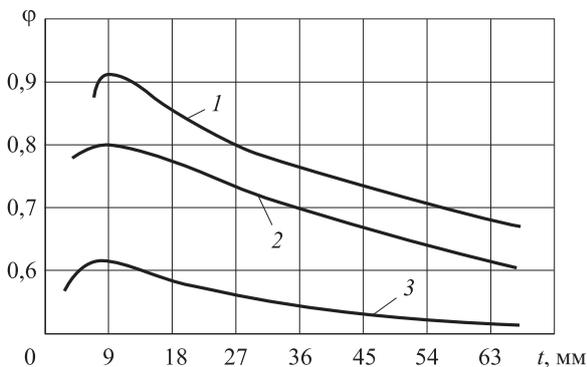


Рис. 5. Влияние шага  $t$  грунтозацепов на коэффициент  $\phi$  сцепления с грунтом при различных значениях давления в системе колесо-грунт:

1 —  $g = 1$  кПа; 2 —  $g = 2$  кПа; 3 —  $g = 20$  кПа

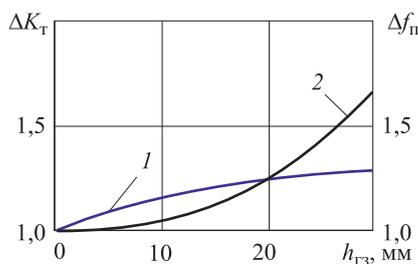


Рис. 6. Влияние высоты  $h_{гз}$  грунтозацепов на изменение коэффициента силы тяги  $\Delta K_t$  (1) и коэффициента сопротивления  $\Delta f_p$  (2) [2]

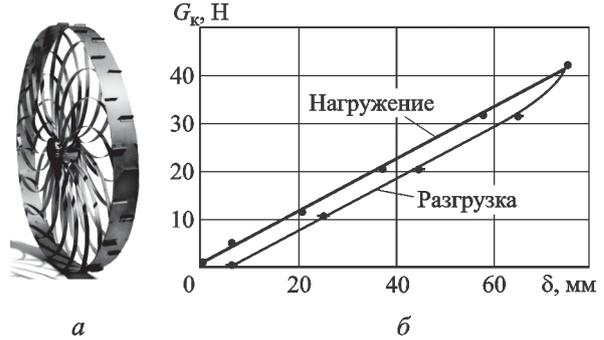


Рис. 7. Металлоэластичное колесо, изготовленное методом точечной сварки (а), и график его нагружения и разгрузки (б):

$G_k$  — нагрузка на колесо;  $\delta$  — прогиб колеса

находиться там длительное время и увеличивать сопротивление качению;

- если оно равно оптимальному значению 0,2...0,3, то грунт при попадании в колесо не задерживается в нем, а быстро высыпается. При этом обеспечиваются боковая и крутильная жесткости колеса.

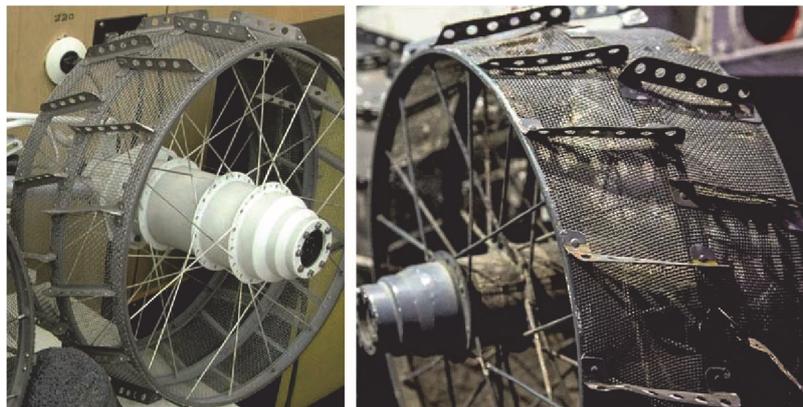
*Закрытые колеса* также характеризуются герметичной оболочкой. Сетчатые оболочки не препятствуют попаданию грунта внутрь колеса, но его выход из колеса затруднен, поэтому какая-то часть грунта может длительное время находиться внутри колеса, создавая дополнительное сопротивление качению.

Наличие грунтозацепов, их форма, количество (шаг) и высота определяют тяговые свойства колеса на грунте (рис. 5), и, соответственно, возрастание потерь энергии на передвижение (рис. 6) и экскавационное воздействие на грунт. При буксовании происходит вынос грунта из зоны его контакта с колесом, резкое увеличение глубины колеи и потеря подвижности.

Материал обода и способ закрепления упругих элементов определяют внутренние потери в колесе при движении (рис. 7).

Рассмотрим реализацию конструктивных особенностей на конкретных образцах.

**Жесткие колеса.** Колесо «Лунохода-1» — жесткое, его обод образован тремя титановыми обручами, соединенными между собой титановыми грунтозацепами (рис. 8). Каждый обод связан стальными спицами со ступицей. Грунтозацепы прикреплены к обручам заклепками. Наружная поверхность обручей обшита титановой сеткой. Крайние обручи имеют несколько меньший диаметр, чем средний, что необходимо для снижения сопротивления колеса при



а

б

Рис. 8. Колесо «Лунохода-1»:

а — окончательный вариант; б — первый вариант



а

б

Рис. 9. Модернизированное колесо «Лунохода-1» после испытаний:

а — с более редкой сеткой; б — со стальными полосами, смонтированными поверх сетки

бортовом повороте. Не создают больших сопротивлений сдвигу грунта в поперечном направлении и тонкие грунтозацепы, закрепленные на обручах под углом примерно  $15^\circ$  к поперечной оси машины. Диаметр колеса составляет 510 мм, ширина — 200 мм.

Отсутствие диска, соединяющего обод и ступицу колеса, обеспечивает свободное перетекание грунта по внутренней поверхности обручей и сетки. Наличие свободного пространства во внутренней полости колеса и отсутствие каких-либо замкнутых объемов способствуют хорошему очищению обода от грунта даже при большом буксовании, когда глубина колеи увеличивается.

При минимальной массе и ажурности конструкции колесо выдерживает удар до 4 000 Н в случае наезда на непреодолимое препятствие.

При испытаниях первого варианта колеса выяснилось, что грунтозацепы, изготовленные

из титановой полосы, не выдерживают нагрузки, гнутся и ломаются (рис. 8, б). Для уменьшения веса сетка была заменена на более редкую.

Однако при испытаниях новое колесо лунохода также получило повреждения (рис. 9, а): погнулись грунтозацепы и продавилась сетка. Это связано с тем, что при каждом наезде жесткого колеса на камень ударная нагрузка действует в первую очередь на грунтозацепы и сетку, и воздействие тем больше, чем выше скорость лунохода.

При наземных испытаниях на рыхлом грунте с повышенными нагрузками сетка прогибалась настолько, что прорывалась, и поверх нее пришлось ставить стальные полосы (рис. 9, б).

**Колесо марсохода Curiosity.** Колесо марсохода Curiosity [8–10], относящееся к классу жестких прорессоренных колес открытого типа, имеет диаметр около 50 см и ширину около 40 см

*а**б*

*Рис. 10.* Колесо марсохода Curiosity:  
*а* — конструкция подвески; *б* — испытание колеса

*а**б*

*Рис. 11.* «Пробоины» на колесе марсохода Curiosity (*а*) и условия передвижения, приводящие к повреждению колеса (*б*)

*а**б*

*Рис. 12.* Условия передвижения марсохода (*а*) и испытательная площадка Mars Yard (*б*)

(рис. 10). Колеса изготовлены из алюминиевого сплава и оснащены грунтозацепами, которые образуют нечто вроде рисунка протектора и обеспечивают прочность конструкции, в то время как толщина оболочки колеса составляет

всего 0,75 мм. Инженеры учли ошибки предшественников — Spirit [11, 12] и Opportunity [10, 13], поэтому у марсохода Curiosity эти грунтозацепы выполнены неровными во избежание бокового скольжения [14].



Рис. 13. Результаты испытания колеса марсохода Curiosity на каменистой поверхности

Поверхность колес имеет форму, напоминающую сферу. Это сделано для смягчения посадки Curiosity на Марс, так как он садился на Красную планету своими колесами, а не на дополнительный посадочном модуле. На внешних краях колес есть ободки, придающие конструк-

ции дополнительную жесткость, а внутри — дополнительный обод (база для крепления упругих элементов колес).

Колеса имеют большую ширину (отношение ширины к диаметру 0,8). Грунт в колесах при движении задерживается. Для очистки колеса от грунта в ободе сделаны 12 отверстий (рис. 10, б).

На передних и средних колесах видны следы износа (рис. 11, а). Условия передвижения на отдельных участках Марса (рис. 12, а) оказались отличными от условий, созданных на Mars Yard — сертифицированной площадке испытаний марсоходов (рис. 12, б).

Как было выяснено, самые серьезные повреждения на колеса оказывают заостренные и углубленные в поверхность камни (рис. 11, б и 12, б). Инженеры JPL (Jet Propulsion Laboratory, США) провели испытания прочности колес при движении по такому типу грунта. К сожалению, результаты испытаний не оказались обнадеживающими. При движении по такому грунту колес хватит примерно на 8 километров пути,

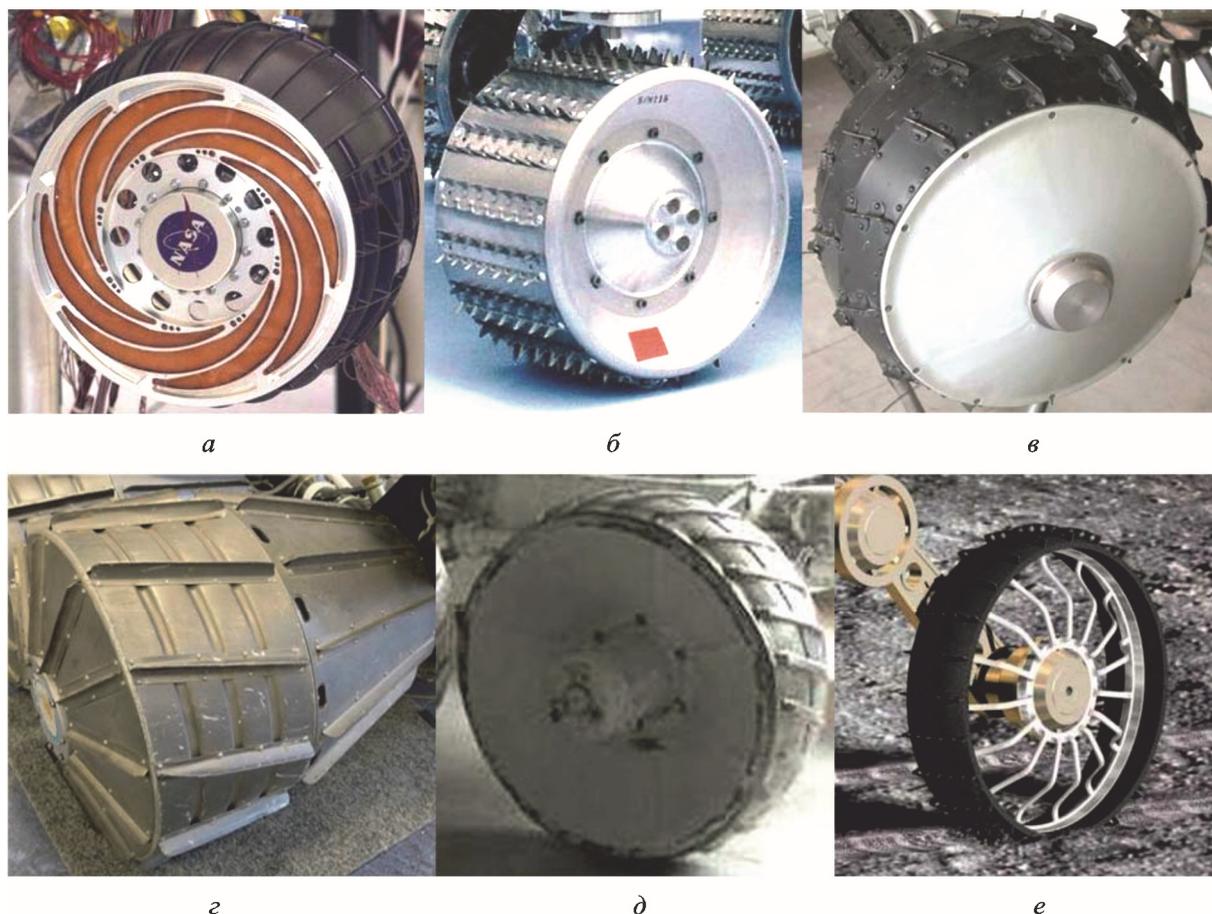


Рис. 14. Жесткие колеса марсоходов Spirit и Opportunity (а), Sojourner (б) [15], макетов марсоходов IARES (в) и ВНИИТМ (г), специализированного транспортного робота СТР-1 для аварийных работ (д) и проекта лунохода МРЕ (Mobile Payload Element) (е) [16]

после чего начнется их быстрая деградация и полное разрушение (рис. 13).

Основная проблема колес марсохода Curiosity — жесткость конструкции и большой размер тонкой диафрагмы между грунтозацепами и ребрами обода.

Таким образом, для современного проектировщика важно выбрать оптимальные схемы движителей в зависимости от назначения аппарата и районов его эксплуатации.

В разное время для марсоходов, роботов и макетов планетоходов были разработаны

различные конструкции жестких колес (рис. 14).

## Выводы

Проведенный анализ существующих конструкций колес планетоходов позволяет утверждать, что на перспективном луноходе целесообразно использовать эластичные цилиндрические открытые (с отношением ширины к диаметру 0,2...0,3) или закрытые колеса.

## Литература

- [1] Кемурджиан А.Л., ред. *Планетоходы*. Москва, Машиностроение, 1993. 400 с.
- [2] Кемурджиан А.Л., ред. *Передвижение по грунтам Луны и планет*. Москва, Машиностроение, 1986. 267 с.
- [3] Рождественский Ю.Л., Наумов В.Н. Математическая модель взаимодействия металлоупругого колеса с уплотняемым грунтом. *Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана*, 1980, № 284, с. 84–111.
- [4] Рождественский Ю.Л., Машков К.Ю. Математическая модель взаимодействия металлоупругого колеса с уплотняемым грунтом в режиме бортового поворота. *Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана*, 1984, № 411, с. 85–108.
- [5] Рождественский Ю.Л., Машков К.Ю. О формировании реакций при качении упругого колеса по недеформируемому основанию в режиме бортового поворота. *Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана*, 1982, № 390, с. 56–64.
- [6] Забавников Н.А. Исследование бортового поворота колесного транспортного средства методом испытания одиночного колеса. *Тракторы и сельхозмашины*, 1972, № 1, с. 12–14.
- [7] Наумов В.Н., Горелов В.А. Совместный опыт МГТУ им. Н.Э. Баумана и НПО имени С.А. Лавочкина в области создания планетоходов. *Вестник НПО имени С.А. Лавочкина*, 2017, № 36(2), с. 144–146.
- [8] *Curiosity Rover*. URL: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/msl/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html) (дата обращения 27 сентября 2016).
- [9] *Second Cycle of Martian Seasons Completing for Curiosity Rover*. URL: <http://www.nasa.gov/feature/jpl/second-cycle-of-martian-seasons-completing-for-curiosity-rover> (дата обращения 27 сентября 2016).
- [10] *Марсоход Curiosity пробил алюминиевое колесо о горную породу Марса*. URL: <http://www.newsru.com/arch/world/03feb2014/marsohod.html> (дата обращения 27 сентября 2016).
- [11] *Колеса марсохода «Кьюриосити» разрушаются, и это очень большая проблема*. URL: <http://hi-news.ru/research-development/kolesa-marsohoda-kyuriositi-razgushayutsya-i-eto-ochen-bolshaya-problema.html> (дата обращения 27 сентября 2016).
- [12] *Разбор «Марсианина»: техника*. URL: <http://zelenyikot.com/the-martian-2> (дата обращения 27 сентября 2016).
- [13] *Марсоход Opportunity работает на Марсе уже 12 лет*. URL: <https://geektimes.ru/post/269924> (дата обращения 27 сентября 2016).
- [14] *Эволюция колес на примере марсоходов*. URL: <https://dirty.ru/evoliutsiia-koles-na-primere-marsokhodov-234914> (дата обращения 27 сентября 2016).
- [15] *Book Review: Lunar and Planetary Rovers. Universe Today Space and astronomy news*. URL: <http://www.universetoday.com/wp-content/uploads/2011/09/marspathrov.jpg> (дата обращения 27 сентября 2016).
- [16] Naarmann R., Mühlbauer Q., Richter L., Klinkner S., Lee C., Wagner C., Jaumann R., Koncz A., Michaelis H., Schwendner J., Hirschmüller H., Wedler A. *Mobile Payload Element (MPE)*. 2013, 16 p. URL: [http://robotics.estec.esa.int/ASTRA/Astra2013/Presentations/Naarmann\\_2810345.pdf](http://robotics.estec.esa.int/ASTRA/Astra2013/Presentations/Naarmann_2810345.pdf) (дата обращения: 27.09.2016).

## References

- [1] *Planetokhody* [The Planetary Rovers]. Ed. Kemurdzhian A.L., Moscow, Mashinostroenie publ., 1993. 400 p.
- [2] *Peredvizhenie po gruntam Luny i planet* [The movement of the soils of the moon and planets]. Ed. Kemurdzhian A.L. Moscow, Mashinostroenie publ., 1986. 267 p.
- [3] Rozhdestvenskii Iu.L., Naumov V.N. Matematicheskaya model' vzaimodeistviia metallouprugogo koleasa s uplotniaemym gruntom [A mathematical model of the interaction of metal-elastic wheels with the sealing primer]. *Trudy MVTU im. N.E. Baumana* [Trudy MVTU named after N.E. Bauman]. 1980, no. 284, pp. 84–111.
- [4] Rozhdestvenskii Iu.L., Mashkov K.Iu. Matematicheskaya model' vzaimodeistviia metallouprugogo koleasa s uplotniaemym gruntom v rezhime bortovogo povorota [A mathematical model of the interaction of metal-elastic wheels with sealing soil in the mode of onboard turn]. *Trudy MVTU im. N.E. Baumana* [Trudy MVTU named after N.E. Bauman]. 1984, no. 411, pp. 85–108.
- [5] Rozhdestvenskii Iu.L., Mashkov K.Iu. O formirovani reaktzii pri kachenii uprugogo koleasa po nedeformiruemomu osnovaniuu v rezhime bortovogo povorota [On the formation reactions in the rolling elastic wheels on rigid ground, in the mode of onboard turn]. *Trudy MVTU im. N.E. Baumana* [Trudy MVTU named after N.E. Bauman]. 1982, no. 390, pp. 56–64.
- [6] Zabavnikov N.A. Issledovanie bortovogo povorota kolesnogo transportnogo sredstva metodom ispytaniia odinochnogo koleasa [Study of side turning vehicles by the method of testing single wheel]. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and farm machinery]. 1972, no. 1, pp. 12–14.
- [7] Naumov V.N., Gorelov V.A. Sovmestnyi opyt MGTU im. N.E. Baumana i NPO imeni S.A. Lavochkina v oblasti sozdaniia planetokhodov [Joint experience of MGTU by N.E. Bauman and Lavochkin Association in the field of rovers development]. *Vestnik NPO imeni S.A. Lavochkina* [Bulletin of the NGO named after S.A. Lavochkin]. 2017, no. 36(2), pp. 144–146.
- [8] *Curiosity Rover*. Available at: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/msl/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html) (accessed 27 September 2016).
- [9] *Second Cycle of Martian Seasons Completing for Curiosity Rover*. Available at: <http://www.nasa.gov/feature/jpl/second-cycle-of-martian-seasons-completing-for-curiosity-rover> (accessed 27 September 2016).
- [10] *Marsokhod Curiosity probil aliuminievoe koleso o gornuiu porodu Marsa* [The Curiosity Rover broke the aluminum wheel on the rock of Mars]. Available at: <http://www.newsru.com/arch/world/03feb2014/marsokhod.html> (accessed 27 September 2016).
- [11] *Kolesa marsokhoda «K'iuiriositi» razrushaiutsia, i eto ochen' bol'shaia problema* [The wheels of Curiosity Rover are destroyed, and this is a big problem]. Available at: <http://hi-news.ru/research-development/kolesa-marsoxoda-kyuriositi-razrushayutsya-i-eto-ochen-bolshaya-problema.html> (accessed 27 September 2016).
- [12] *Razbor «Marsianina»: tekhnika* [The analysis of the «Martian» technique]. Available at: <http://zelenyikot.com/the-martian-2> (accessed 27 September 2016).
- [13] *Marsokhod Opportunity rabotaet na Marse uzhe 12 let* [Opportunity Rover working on Mars for 12 years]. Available at: <https://geektimes.ru/post/269924> (accessed 27 September 2016).
- [14] *Evoliutsiia koles na primere marsokhodov* [The evolution of the wheels on the example of the Mars Rovers]. Available at: <https://dirty.ru/evoliutsiia-koles-na-primere-marsokhodov-234914> (accessed 27 September 2016).
- [15] *Book Review: Lunar and Planetary Rovers. Universe Today Space and astronomy news*. Available at: <https://www.universetoday.com/88623/book-review-lunar-and-planetary-rovers/> (accessed 27 September 2016).
- [16] Haarmann R., Mühlbauer Q., Richter S., Klinkner C., Lee C., Wagner R., Jaumann R., Koncz A., Michaelis H., Schwendner J., Hirschmüller H., Wedler A. *Mobile Payload Element (MPE)*. Available at: [http://robotics.estec.esa.int/ASTRA/Astra2013/Presentations/Haarmann\\_2810345.pdf](http://robotics.estec.esa.int/ASTRA/Astra2013/Presentations/Haarmann_2810345.pdf) (accessed 27 September 2016).

## Информация об авторах

**НАУМОВ Валерий Николаевич** (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**КОЗЛОВ Олег Евгеньевич** (Москва) — зав. лабораторией. ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) (117997, Москва, Российская Федерация, Профсоюзная ул., д. 84/32).

**МАШКОВ Константин Юрьевич** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: makon111@rambler.ru).

**БЯКОВ Константин Евгеньевич** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: konst.byakov@yandex.ru).

## Information about the authors

**NAUMOV Valeriy Nikolaevich** (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Multipurpose Tracked Vehicles and Mobile Robots. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1).

**KOZLOV Oleg Evgenievich** (Moscow) — Head of the Laboratory. Federal State Budgetary Scientific Institution: Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAN) (117997, Moscow, Russian Federation, Profsoyuznaya St., Bldg. 84/32).

**MASHKOV Konstatin Yurievich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor. Department of Multipurpose Tracked Vehicles and Mobile Robots. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: makon111@rambler.ru).

**BYAKOV Konstantin Evgenievich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor. Department of Multipurpose Tracked Vehicles and Mobile Robots. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: konst.byakov@yandex.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышло в свет 3-е издание учебного пособия  
**В.П. Строгалева, И.О. Толкачевой**  
«Имитационное моделирование»

Изложены основные вопросы, связанные с построением моделей реальных систем, проведением компьютерных экспериментов на моделях и управлением этими экспериментами. Подробно рассмотрены принципы имитационного моделирования и представлен соответствующий математический аппарат с большим количеством примеров.

Содержание учебного пособия соответствует курсу лекций, который авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов технических вузов, специализирующихся в области разработки сложных технических систем, а также для специалистов, занимающихся прикладными исследованиями, и руководителей различного рода предприятий.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru