

УДК 629.1.032.001

*Е.В. Авотин, Р.Ю. Добрецов, С.И. Матросов*

## **АДАПТИВНЫЕ ШАССИ ПОДВИЖНЫХ РОБОТОВ**

*E.V. Avotin, R.Yu. Dobretsov, S.I. Matrossov*

### **ADAPTIVE CHASSIS OF THE MOBILE ROBOTS**

Рассматривается возможность использовать адаптивное шасси в качестве анализатора поверхности для определения параметров препятствий при движении в условиях пересеченной местности. Работа анализатора поверхности рассматривается на примере шестиколесного модульного типа с шарнирной рамой и колесно-шагающим движителем шасси.

АВТОНОМНАЯ КОЛЕСНАЯ МАШИНА. РОБОТ. ПЛАНЕТОХОД. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕПЯТСТВИЙ.

Considered the possibility of usage of adaptive chassis as a surface analyzer for obstruction parameters determination in case of movement on the tough terrain. Performance of the surface analyzer is studied by the example of the modular type six-wheel chassis with hinged frame and wheel-walking mover.

AUTONOMOUS WHEELED VEHICLE. ROBOT. PLANETARY ROVER. OBSTRUCTION PARAMETERS PREDICTION.

*Валерию Васильевичу Громову, одному из разработчиков планетоходов, выпускнику кафедры колесных и гусеничных машин ЛПИ им. Калинина, посвящается*

Адаптивные шасси транспортных машин находят применение в различных областях человеческой деятельности благодаря, прежде всего, высокой проходимости. Значительная стоимость, обусловленная сложностью конструкции, сдерживает широкое распространение таких машин в транспортно-технологической отрасли, оставляя в качестве рациональных областей их применения поисковые работы (на иных планетах или на Земле — в экстремальных условиях) и медицину (реабилитационная техника).

В настоящее время адаптивное шасси как основа автономно или дистанционно управляемого робота — единственное решение проблемы обеспечения контактного исследования поверхностей и подповерхностных слоев грунта при движении по труднопроходимой поверхности, например других планет.

Помимо выполнения функции транспортного средства, адаптивное шасси может быть использовано как анализатор опорной поверхности, например для определения формы пре-

пятствий в процессе движения автономного робота и прогнозирования опасных ситуаций. Работа анализатора поверхности далее рассматривается на примере шестиколесного модульного типа шасси с шарнирной рамой и колесно-шагающим движителем. Идеологом и основным разработчиком такой конструктивной схемы был В.В. Громов [1–5, 7].

Параметры препятствий при таком режиме работы шасси определяются на основании информации об относительном положении элементов шарнирной рамы и колес, а также токовых нагрузках и скоростях вращения колес, крене и дифференте машины. Алгоритм прогнозирования опасных ситуаций, который необходимо разработать для подобного шасси, позволит повысить безопасность движения и маневрирования на поверхности со сложными рельефными и грунтовыми условиями.

Рассматриваемое адаптивное шасси использовалось в российском планетоходе по программе «Марс-96», оно может быть дополнением к основной системе безопасности автономного

робота, а в случае ее выхода из строя — использоваться в качестве резервной системы управления [1–4, 6].

**Устройство адаптивного шасси.** На рис. 1 показан общий вид ходового макета марсохода (программа «Марс-96») с адаптивным шасси, а на рис. 2 — схема шасси машины этого семейства.

Первые успешные испытания макета адаптивного шасси с автоматическим управлением движения были проведены инженерами С.И. Матросовым, Р.К. Веткиным и В.С. Соломниковым под руководством В.В. Громова на вулканических грунтах полуострова Камчатка в 1986–91 годах.

Макет адаптивного шасси — это трехмодульный аппарат. Его основные элементы — шарнирная рама 4 и колесно-шагающий движитель с колесной формулой 6×6. Цилиндрическо-конические мотор-колеса 1 установлены попарно и занимают практически всю ширину шасси. В результате при минимальной колесной базе для шасси такой параметр оценки профильной проходимости, как дорожный просвет, становится практически незначимым. Практически исключается посадка робота на днище при движении по пересеченной (каменистой или холмистой) местности. Мотор-колеса крайних осей установлены на концах рычагов и могут перемещаться вперед и назад с помощью механизмов шагания 2, 3. Последние установлены на шарнирной раме таким образом, что крайние колесные оси могут поворачиваться относительно продольной оси шасси в двух продольных шарнирах 5. Центральный свободный шарнир рамы обеспечивает возможность поворота полурам относительно оси средних мотор-колес (на рис. 2 не показан). В результате обеспечивается постоянный контакт колес с неровной поверхностью, т. е. движитель адаптируется к неровностям.

Для обеспечения устойчивости машины от опрокидывания в шарнирах рамы установлены механические упоры, ограничивающие взаимные перемещения элементов шасси. В крайних положениях поперечного и продольных шарниров, а также в средних, крайних и максимально возможных положениях рычагов механизмов шагания установлены контактные датчики (датчики 9 и 10 в таблице). Это позволяет (наряду с информацией об углах положения рычагов механизмов шагания) контролировать геометрические параметры шасси при определении пространственного положения робота на местности.

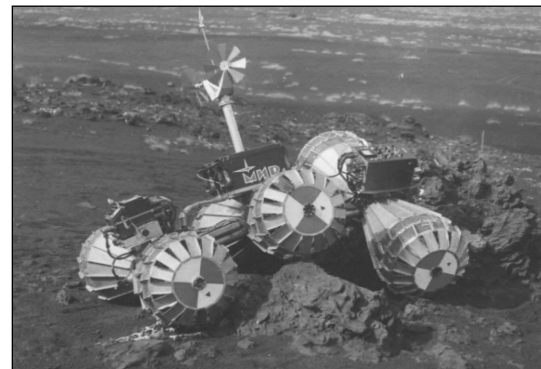


Рис. 1. Общий вид марсохода с адаптивным шасси (программа «Марс-96»)

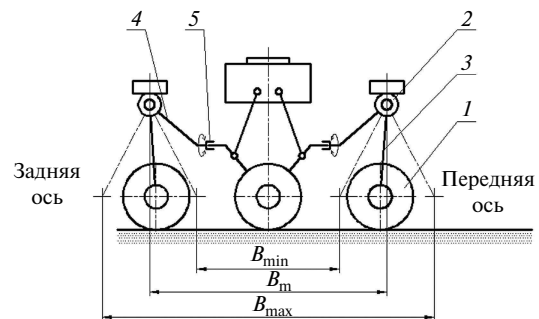


Рис. 2. Схема адаптивного шасси с системой датчиков: 1 — мотор-колесо; 2, 3 — механизм шагания; 4 — шарнирная рама, 5 — продольный шарнир;  $B_{\min}$ ,  $B_m$  и  $B_{\max}$  — минимальная, средняя и максимальная базы

Каждая секция шасси имеет платформу для установки технологического оборудования. Источники электропитания и другое оборудование размещаются внутри мотор-колес, что снижает высоту расположения центра тяжести ходового макета и повышает его устойчивость от опрокидывания.

Шасси может реализовать два режима движения — колесный и колесно-шагающий. В колесном режиме движение осуществляется при постоянной колесной базе, которая может изменяться в зависимости от условий движения.

Поворот может осуществляться на месте и в движении по бортовому принципу.

Колесно-шагающий режим используется в тяжелых условиях эксплуатации, например при движении по грунтам с низкой несущей способностью или несвязным грунтам.

**Измеряемые параметры адаптивного шасси**

№ п/п	Измеряемый параметр	Число датчиков
1	Крен $K$ шасси (средней колесной оси)	1
2	Дифферент $D$ шасси (средней колесной оси)	1
3	Курс	1
4	Частота $n_{дв}$ вращения электродвигателя мотор-колеса	6
5	Потребляемый ток $I$ мотор-колеса	6
6	Угол $\beta_1$ поворота передней колесной оси относительно продольной оси шасси (датчик угла переднего продольного шарнира)	1
7	Угол $\beta_2$ поворота задней колесной оси относительно продольной оси шасси (датчик угла заднего продольного шарнира)	1
8	Угол $\alpha$ складывания рамы (датчик угла поперечного шарнира)	1
9	Угол положения рычага переднего механизма шагания	1
10	Угол положения рычага заднего механизма шагания	1
11	Состояние контактных датчиков крайних положений рамы при складывании	2
12	Состояние контактных датчиков крайних положений передней колесной оси	2
13	Состояние контактных датчиков крайних положений задней колесной оси	2
14	Состояние контактных датчиков средних и крайних положений рычага переднего механизма шагания	3
15	Состояние контактных датчиков средних и крайних положений рычага заднего механизма шагания	3
16	Состояние контактного датчика максимального угла поворота рычага переднего механизма шагания	1
17	Состояние контактного датчика максимального угла поворота рычага заднего механизма шагания	1
18	Состояние контактных датчиков предельных положений по крену	2
19	Состояние контактных датчиков предельных положений по дифференту	2

Колесно-шагающий режим движения реализуется с помощью приводов мотор-колес и механизмов шагания (рис. 3). Перемещение выбранных системой управления (или оператором) осей осуществляется за счет одновременного включения соответствующих приводов мотор-колес и нужного механизма шагания. Колесно-шагающий режим движения обеспечивает преодоление склонов, крутизна которых равна углу естественного откоса грунта.

Для сравнения на рис. 4. приведена кривая, показывающая изменение величины коэффи-

циента свободной тяги  $K_1$  в зависимости от значения скольжения движителя при движении шасси в колесном и колесно-шагающем режимах. Видно, что по этому показателю колесно-шагающий режим почти в два раза эффективнее колесного. Однако при реализации колесно-шагающего режима скорость движения меньше, а энергозатраты на движение выше.

Следует отметить, что применительно к колесно-шагающему режиму под скольжением понимают положительное смещение в зоне контакта.

Для проверки подвижности рассмотренного выше шасси проводились ходовые испытания разработанного для этих целей специального ходового макета. Испытания проводились на вулканической местности полуострова Камчатка в районе вулкана Толбачик.

При проведении испытаний для макета определены: тягово-сцепные свойства в колесном и колесно-шагающем режимах; показатели поворотливости при различных возможных состояниях ходовой части (см. рис. 3); показатели профильной проходимости (рис. 5).

Исследования предусматривали определение максимально преодолеваемого угла подъема  $\alpha$  и коэффициента свободной тяги  $K_T$ , которые, как известно, связаны между собой соотношением  $K_T = \operatorname{tg} \alpha$  (см. рис. 4).

Тягово-сцепные свойства определялись по методике, разработанной в ОАО «ВНИИ Трансмаш» и примененной в предыдущих экспедициях. Испытания проводились на склоне вулканического конуса с переменной крутизной, которая изменялась от 0 до 33–35°.

Величина несущей способности грунта по склону изменялась в пределах 0,00015–0,006 Н/м<sup>2</sup>. Параметры, характеризующие тягово-сцепные свойства (такие, как коэффициенты сцепления, сопротивления движению и буксования), также определялись по традиционным методикам.

Например, коэффициент буксования определялся из соотношения  $\sigma = 1 - V \sum_{i=1}^n G_i / \sum_{i=1}^n M_i \omega_i$ , что позволяет рассмотреть буксование не как чисто кинематическую характеристику процесса, но с учетом влияния действующих нагрузок. Здесь  $V$  — скорость движения макета;  $G_i$ ,  $M_i$  и  $\omega_i$  — вертикальная нагрузка, тяговый момент и угловая скорость для  $i$ -го колеса.

Из обработки результатов испытаний, представленных на графике рис. 4, следует, что максимальный угол преодолеваемого подъема при движении по вулканическому шлаку составляет в колесном режиме 24°, а в колесно-шагающем — 33°, т. е. величину, недостижимую для шасси большинства других конструкций.

**Система датчиков и измеряемые параметры.** Система датчиков шасси обеспечивает поставку необходимой информации для анализа положения робота. Перечень измеряемых величин (па-

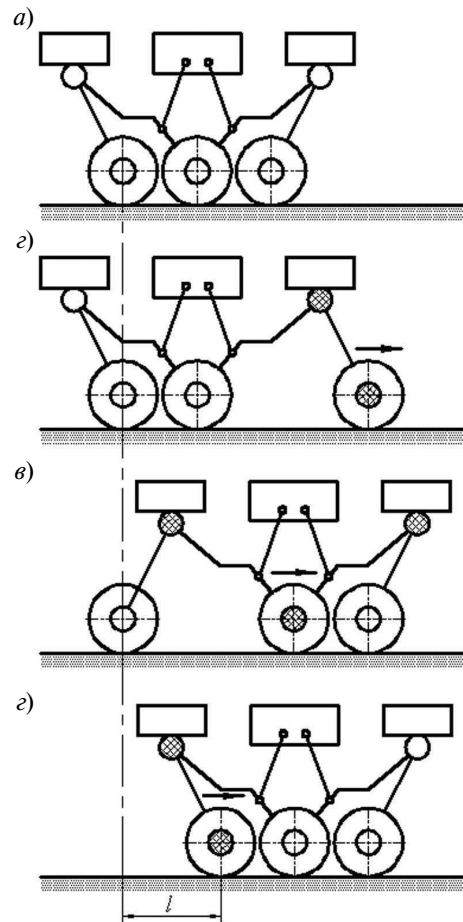


Рис. 3. Схема реализации колесно-шагающего режима (один шаг):

*a* — исходное положение; *b* — перемещение передней оси; *v* — перемещение средней и перемещение задней оси; *z* — перемещение шасси на один шаг (● и ○ — тяговый и заторможенный режим работы приводов мотор-колес и механизма шагания)

раметров) и используемых датчиков приведен в таблице.

Для получения более полной информации о пространственном положении и условиях движения шасси может дополнительно иметь датчики буксования движителя, крена и дифферента крайних секций.

Важная задача системы управления автономного робота — обеспечение гарантированной безопасности как при прямолинейном движении, так и при маневрировании.

Необходимость обеспечения безопасности движения очевидна для автономных роботов, предназначенных для работы на других планетах,

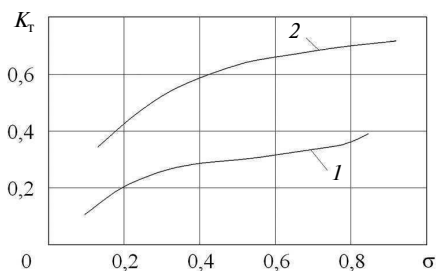


Рис. 4. Изменение коэффициента свободной силы тяги  $K_T$  от величины скольжения  $\sigma$  для режимов работы шасси (1 — колесный; 2 — колесно-шагающий)

а также и для наземных, в том числе функционирующих в экстремальных условиях.

Одна из составных частей системы управления движением автономного робота по местности — это устройства, обеспечивающие обнаружение препятствий при прямолинейном движении и при маневрировании.

Для обнаружения препятствий на автономном транспортном средстве могут использоваться тактильные (механические) устройства (чувствительный элемент такого устройства обычно находится за пределами шасси); бесконтактные измерители расстояний (например, лазерные дальномеры); датчики углов наклона шасси; датчики хода подвески, деформации колеса. Назначение датчиков, их количество зависит от конструктивной схемы бортовой информационно-измерительной и вычислительно-управляющей систем робота и решаемых задач.

**Прогнозирование параметров препятствий на основе показаний датчиков для различных шасси**

может осуществляться двумя способами: по пороговому значению сигналов датчиков и по сумме сигналов датчиков.

В первом случае остановка робота происходит, когда сигнал одного из датчиков достигает порогового значения. Во втором случае остановка робота происходит, когда суммарный сигнал датчиков, определяющих положение модулей шасси (колесных осей), достигает суммарного порогового значения.

Пороговое значение сигнала устанавливается в зависимости от условий эксплуатации. При этом основной предпосылкой является обеспечение (в заданных пределах) высокой проходимости на пересеченной местности.

При наличии необходимого информационного обеспечения может быть выбрана максимально допустимая скорость, при движении с которой гарантируется безопасность в случае попадания в критическую ситуацию. К таким ситуациям при разработке автономных транспортных средств обычно относят следующие: удар о непреодолимое препятствие, экстренное торможение, интенсивный разгон и поворот в движении.

Максимально допустимая скорость в случае удара в непреодолимое препятствие для автономного шасси с жесткой рамой может быть определена из соотношения [6]

$$V_{кр}^2 = \frac{2gJ_{пр}}{MH^2\delta_0^2(1-K)^2} [1 - \sin(\alpha + \varphi_n)].$$

Здесь  $M$  — масса шасси;  $J_{пр}$  — момент инерции, приведенный к оси опрокидывания;  $H$  — высота



Рис. 5. Ходовые испытания адаптивного макета с переменной геометрией ходовой части на пересеченной местности:

а — движение среди россыпи камней; б — преодоление вертикальной стенки

центра тяжести;  $\alpha$  — угол наклона опорной поверхности;  $g$  — ускорение свободного падения;  $\delta_0$  — коэффициент учета вращающихся масс.

Величина угла подъема неровности вычисляется по выражению

$$\varphi_n = \arctg(H/l_1).$$

Расстояние  $l$  от центра тяжести до точки контакта крайнего колеса с опорной поверхностью определяется как  $l = \sqrt{l_1^2 + H^2}$  (здесь  $l_1$  — проекция на продольную ось расстояния от центра тяжести до точки контакта крайнего колеса с опорной поверхностью).

Коэффициент пропорциональности  $-1 \leq K \leq 1$  характеризует поглощение энергии при взаимодействии движителя с опорной поверхностью.

Значение  $K = 1$  соответствует движению по ровной поверхности, т. е. препятствия отсутствуют.

Таким образом, безопасность движения автономного робота может быть гарантирована, если информационная система будет обеспечивать систему управления не только величинами углов наклона опорной поверхности, на которых находится автономный робот в данный момент времени (текущие углы наклона поверхности), но и углами наклона, на которые возможно его попадание в будущем (прогнозируемые углы наклона поверхности). Прогнозирование углового положения также может быть выполнено с использованием математической модели (расчетная схема показана на рис. 6 [8]) или с помощью крайней секции адаптивного шасси, которая в этом случае используется в качестве специального макета-шаблона. Из рис. 6 видно, что для автономного шасси с жесткой рамой прогнозируемый угол наклона в вертикально-продольной плоскости (прогнозируемый дифферент) может быть определен с помощью выражения

$$\alpha_{\text{пр}} = \arcsin \frac{D \sin(\beta - \varphi) - l_0 \sin \varphi - h \cos \varphi}{L}.$$

Здесь  $\varphi$  — текущий угол наклона шасси в вертикально-продольной плоскости (дифферент);  $\beta$  — угол наклона измерителя дальности;  $\alpha_{\text{пр}}$  — прогнозируемый дифферент робота.

В [6] также показано, что прогнозирование положения робота в пространстве может быть проведено по следующим соотношениям:

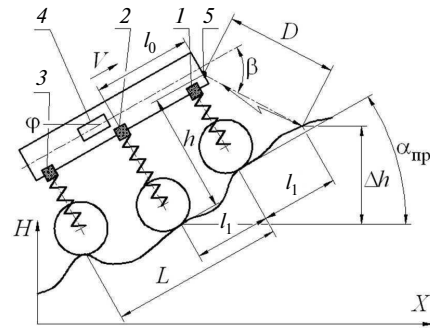


Рис. 6. Прогнозирование продольного углового положения (дифферент):

1 — датчик хода подвески переднего колеса; 2 — датчик хода подвески среднего колеса; 3 — датчик хода подвески заднего колеса; 4 — датчик дифферента; 5 — датчик измерения расстояния до рельефа перед роботом (дальномер);  $\Delta h$  — перепад высоты рельефа между крайними колесами планетохода в прогнозируемом положении;  $\varphi$  — текущий дифферент

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_{\text{пи}} l_i \Delta h_{\text{ки}}}{\sum_{i=1}^n c_{\text{пи}} l_i^2}$$

и

$$\gamma_{\text{пр}} = c_{\text{пи}} b_i h \Delta h_{\text{ки}} / \sum_{i=1}^n c_{\text{пи}} b_i^2.$$

Здесь  $\gamma_{\text{пр}}$  — прогнозируемый угол наклона робота в вертикально-поперечной плоскости;  $c_{\text{пи}}$  — жесткость подвески  $i$ -го колеса;  $b_i = B/2$ , где  $B$  — ширина колеи;  $l_i$  — проекция расстояния от центра тяжести до центра  $i$ -го колеса;  $\Delta h_{\text{ки}}$  — либо высота неровности под  $i$ -м колесом, измеренная в неподвижной системе координат, либо перепад высот рельефа под  $i$ -м колесом, измеренный в подвижной системе координат относительно, например, точки контакта переднего колеса с опорной поверхностью в текущем положении.

Приведенные соотношения также позволяют определять прогнозируемое положение по крену и дифференту в процессе движения только для машин с жесткой рамой. Для роботов с шарнирно-сочлененной рамой (адаптивные роботы) эти соотношения при работе шасси, например в колесно-шагающем режиме, не применимы. Для таких роботов может быть использован принцип «специального макета-шаблона».

Возможность обнаружения препятствий может быть существенно увеличена, если конструкция шасси обладает адаптивными свой-

ствами. Для решения этой задачи иногда может использоваться дополнительная информация, например потребляемые токи и скорости вращения мотор-колес.

К конструктивным особенностям, которые обеспечивают адаптацию шасси к условиям эксплуатации, может относиться шарнирное соединение соседних секций. Такое соединение обеспечивает независимое положение секций друг относительно друга в вертикально-продольной плоскости, а также их колесных осей в вертикально-поперечной плоскости. Поэтому передняя секция такого шасси может выполнять роль «специального макета-шаблона».

### Основные выводы

Наиболее рациональное применение полноприводных секционных шасси с цилиндрическими колесами — это работа в составе автономно (или дистанционно) управляемого

роботизированного комплекса, эксплуатируемого в условиях пересеченной местности (планетоход, разведывательная машина). Частным случаем применения может служить работа в качестве анализатора поверхности, например при составлении карт проходимости местности.

Представленная номенклатура устанавливаемых датчиков и описанные математические модели служат основой для разработки алгоритмов работы бортовой аппаратуры, которые позволяют реализовать функцию анализатора поверхности применительно к адаптивному шасси с шарнирно-сопряженной многосекционной рамой.

Полноприводные многосекционные шасси обладают большим потенциалом подвижности и могут быть применены при проведении исследований областей планет, недоступных работающим в настоящее время планетоходам (в частности, на Марсе).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ №2019463. Сочлененное полноприводное транспортное средство и способ изменения направления его движения [Текст] / Р.К. Веткин, В.В. Громов, А.Л. Кемурджиан, В.И. Кучеренко, С.И. Матросов, В.С. Соломников [и др.].— Опубл.: Бюл. 1994. №17.
2. Патент РФ №2022860. Трехосное полноприводное колесное транспортное средство и способ его перемещения по препятствиям [Текст] / В.В. Громов, А.Л. Кемурджиан, В.И. Комиссаров [и др.].— Опубл. Бюл. 1994. №21.
3. Громов, В.В. Испытания марсохода в пустыне Мохави [Текст] / В.В. Громов // Земля и Вселенная.— 1993. №6.
4. Громов, В.В. Использование адаптивного шасси подвижного робота для автоматического управления движением [Текст] / В.В. Громов [и др.] // Труды Международной школы-семинара «Адаптивные роботы и GSLT».— Moscow — St.-Petersburg — Brescia. 2004.
5. Bogatchev A., Koutcherenko V., Matrosov S., Fedoseev S., Pavlovsky V., Vladykin S., Petriga V. From Planetary Rovers to Special Robots.— 1<sup>st</sup> German-Russian Conference on Robotics (GRCR).— May 2012.— Munich, GERMANY.
6. Авотин, Е.В. Динамика планетохода [Текст] / Е.В. Авотин, И.С. Болховитинов, А.Л. Кемурджиан [и др.].— М.: Наука, 1979.
7. Патент РФ №2022859. Сочлененное колесное транспортное средство [Текст] / А.Н. Богачев, А.А. Боровков, Р.К. Веткин [и др.].— Опубл.: Бюл. 1994. №21.
8. Авт. св. № 754787. Устройство для прогнозирования положения транспортного средства [Текст] / Е.В. Авотин, А.Л. Кемурджиан, В.К. Мишкинюк, Л.Н. Поляков.— 1980.

### REFERENCES

1. Patent №2019463 Rossiia. Sochlenennoe polnoprivodnoe transportnoe sredstvo i sposob izmeneniia napravleniia ego dvizheniia [Tekst] / Vetkin R.K., Gromov V.V., Kemurdzhian A.L., Kucherenko V.I., Matrosov S.I., Solomnikov V.S. [i dr.] /— Opubl.: Biul. 1994. №17/ (rus.)
2. Patent №2022860. Rossiia. Trekhosnoe polnoprivodnoe kolesnoe transportnoe sredstvo i sposob ego peremeshcheniia po prepiatstviim [Tekst] / Avt. Gromov V.V., Kemurdzhian A.L., Komissarov V.I. [i dr.].— Opubl.: Biul. 1994. №21. (rus.)
3. Gromov V.V. Ispytaniia marsokhoda v pustyne Mokhavi [Tekst] / Gromov V.V. // Zemlia i Vselennaia.— 1993. №6. (rus.)
4. Ispol'zovanie adaptivnogo shassi podvizhnogo robota dlia avtomaticheskogo upravleniia dvizheniem [Tekst] /Gromov V.V. [i dr.] // Trudy Mezhduna-rodnoi shkoly-seminara «Adaptivnye roboty i GSLT».— Moscow — St.-Petersburg — Brescia.— 2004 (rus.)
5. Bogatchev A., Koutcherenko V., Matrosov S., Fedoseev S., Pavlovsky V., Vladykin S., Petriga V. From

Planetary Rovers to Special Robots.— 1<sup>st</sup> German-Russian Conference on Robotics (GRCR).— May 2012.— Munich, GERMANY.

6. **Gromov, V.V. Avotin E.V., Bolkhovitinov I.S., Kermurd-zhian A.L. [i dr.].** Dinamika planetokhoda [Tekst].— M.: Nauka, 1979. (rus.)

7. **Patent №2022859. Rossiia.** Sochlenennoe kolesnoe transportnoe sredstvo [Tekst] / Bogachev A.N., Borovkov A.A., Vetkin R.K. [i dr.].— Opubl.: Biul. 1994. №21 (rus.)

8. **Avt. sv. № 754787.** Ustroistvo dlia prognozirovaniia polozeniia transportnogo sredstva [Tekst] / E.V. Avotin, A.L. Kermurdzhian, V.K. Mishkiniuk, L.N. Poliakov — 1980. (rus.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

**АВОТИН Евгений Викторович** — кандидат технических наук доцент кафедры двигателей, автомобилей и гусеничных машин Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: kgm-spb@list.ru

**AVOTIN Evgeny V.** — St.-Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St.-Petersburg, Russia; e-mail: kgm-spb@list.ru

**ДОБРЕЦОВ Роман Юрьевич** — кандидат технических наук профессор кафедры двигателей, автомобилей и гусеничных машин Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: kgm-spb@list.ru

**DOBRETsov Roman Yu.** — St.-Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St.-Petersburg, Russia; e-mail: kgm-spb@list.ru

**МАТРОСОВ Сергей Ильич** — начальник отдела международной кооперации ОАО «ВНИИ Трансмаш»; 198323, Санкт-Петербург, ул. Заречная, 2, Россия; e-mail: rover@peterlink.ru

**MATROSSOV Sergey I.** — JSC VNIITransmash, 198323, Zarechnaja str., 2, St.-Petersburg, Russia; e-mail: rover@peterlink.ru