

УДК 004.896:629.3

А.В. Васильев
Санкт-Петербург, Россия

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ШАССИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ НАЗЕМНОГО ПРИМЕНЕНИЯ И ПЛАНЕТОХОДОВ

A.V. Vasiliev
St.-Petersburg, Russia

DEVELOPMENT AND CLASSIFICATION PRINCIPLES OF GROUND MOBILE ROBOT'S AND PLANET ROVER'S CHASSIS

Рассмотрены схемные и конструктивные решения, нашедшие применение при создании шасси наземных (напланетных) РТС. Разработана классификация шасси, основанная на анализе их адаптационных способностей. Предложены принципы и правила составления оригинальной формульной записи схемы шасси, служащей для краткого описания ее структурного состава.

ШАССИ. РОБОТ. ПЛАНЕТОХОД. КЛАССИФИКАЦИЯ. ФОРМУЛА. АДАПТАЦИЯ.

Schematic and construction decisions of ground (planet) rover's chassis are considered. The chassis classification based on adaptability is developed. The original formula principles and compose rules are proposed.

CHASSIS. ROBOT. PLANET ROVER. CLASSIFICATION. ADAPTABILITY.

Способы передвижения современных наземных робототехнических систем (РТС) характеризуются большим разнообразием. Основой любого мобильного робота (МР) или планетохода является шасси той или иной конструкции. Шасси (или самоходное шасси)¹ представляет собой совокупность частей, обеспечивающих передачу механической энергии от двигателей к активным элементам движителя (ЭД) – ведущим колесам, звездочкам, шкивам, выходным звеньям механизмов изменения геометрии шасси или механизмов шагания и т. п., – объединенных вместе с приводами в функциональную конструктивную подсистему.

Цель данной статьи – как можно более полный структурный анализ и систематизация применяемых на сегодняшний день схем шасси (СШ). По результатам анализа большого количества разработок предлагается классификация конструктивных и схемных решений шасси, нашедших отражение в проектах различных МР, делается вывод о тенденциях развития и принципах их построения.

¹ Здесь термины «шасси» и «самоходное шасси» для краткости рассматриваются как эквивалентные, хотя, строго говоря, это не так.

Принципы передвижения наземных РТС

Шасси и примененный движитель во многом определяют как конструктивный облик МР, так и его функциональные возможности, главная из которых – способность к передвижению в недетерминированной среде и приспособляемость к сложным условиям движения. В конструкциях наземных РТС, по аналогии с транспортными машинами общего назначения, традиционно находят применение колесный и гусеничный движители с простейшими схемами шасси: фиксированной конфигурации и различным числом ЭД. В то же время общая тенденция развития наземных (впрочем, как и других) РТС в сторону миниатюризации [4], возрастающие требования по профильной проходимости МР с одновременным снижением размеров и массы [1] приводят к необходимости усложнения конструкций шасси путем добавления различных пассивных или активных механизмов адаптации. Это позволяет существенно повысить показатели профильной проходимости машины и наделить ее рядом дополнительных функций [1].

Также развиваются теоретические исследования и создаются конструкции МР (в т. ч. малогабаритные) с шагающим (например, Boston Dynamics (США), ВолгГТУ (Россия)) и ползающим (Hirose



Развитие принципов построения шасси мобильных роботов и РТС

Fukushima Robotics (Япония), University of Hamburg (Германия), Carnegie Mellon University (США), ЦНИИ РТК (Россия)) принципами передвижения. Заметим, что ползающую схему можно рассматривать как многомодульную сочлененную структуру, передвигающуюся только за счет движений в межмодульных шарнирах (а не за счет движения каждого из отдельных модулей, оснащенных, к примеру, колесным движителем). В этом смысле ползающие схемы рассматриваются как некий подкласс сочлененных.

На рисунке в схематичной форме приведены результаты анализа принципов построения шасси с точки зрения повышения их адаптационных способностей.

Таким образом, как это принято для транспортных машин, шасси наземных РТС первоначально делятся на несколько классов, характеризующихся выбранным принципом передвижения [7]. Здесь, в рамках предлагаемой классификации, выделяются следующие классы шасси:

- колесные;
- гусеничные;
- шагающие;
- гибридные (комбинированные);
- сочлененные.

При этом к гибридным (комбинированным)

относятся схемы, имеющие в своем составе атрибуты нескольких классов одновременно (колесно-гусеничные, колесно-шагающие, гусенично-рычажные и т. п.). В этих схемах первостепенную роль играет не тип примененного основного движителя, а конструктив адаптационных механизмов шасси. Например, в шасси робота SandFlea (Boston Dynamics) для преодоления значительных препятствий предусмотрен адаптационный механизм, включающий в себя рычаги для наклона корпуса и специальный привод поршневого типа, способный с силой вытолкнуть робот в заданном направлении, обеспечивая ему прыжок на высоту до 8 (!) м. При этом в качестве базы здесь выступает простое четырехколесное шасси. Очевидно, что преобладающую роль в этой разработке играет именно примененный адаптационный механизм, а не выбранный тип движителя. Поэтому данную схему шасси целесообразно отнести к классу гибридных шасси с колесным типом движителя и использованием специальных рычагов.

В другом варианте [10] в качестве адаптационного механизма шасси используется исполнительное оборудование робота (в данном случае, манипулятор, снабженный пассивными колесами). В связи с этим такое конструктивное решение можно отнести к гибридным схемам с

шестиколесным двигателем с использованием в качестве механизма повышения проходимости исполнительного оборудования МР.

Критерии классификации

Классификация построена на основе пошагового анализа схем шасси по степени их конструктивного усложнения по пути *повышения адаптационных способностей*. Анализ проводится путем определения *числа степеней подвижности* (т. е. подвижных элементов) в той или иной функциональной подсистеме шасси. Всего выделяется три основных функций шасси: передвижение, маневрирование и преодоление препятствий.

Так, на первом этапе определяется способ передвижения и число подвижных ЭД (двух-, трех-, четырех-, шести-, восьмиколесная, двух-, четырех-, шестигусеничная и т. п.), затем, в первую очередь для колесного двигателя, – число приводных и ведомых элементов двигателя, а также выбранный способ маневрирования (бортовой или с помощью управляемых ЭД). Для гусеничных шасси в силу их природы применяется бортовой способ поворота – он подразумевается по умолчанию. Тем не менее в очень редких случаях в практике гусеничной техники встречаются варианты поворота за счет изгиба гусеничной ленты (например, шасси танка Mk VII Tetrarch, приведенное в работе [3]). В области мобильной робототехники можно упомянуть робот Augoга компании Automatika Inc. (США), построенный по одногусеничной схеме, поворот которого осуществляется за счет изгиба гусеницы. В колесных роботах в подавляющем большинстве случаев также используется бортовой («танковый») способ поворота. Поэтому здесь он также подразумевается по умолчанию, а наличие управляемых ЭД оговаривается особо.

Последним этапом анализа является оценка адаптационных способностей шасси. Рассматривается тип адаптационного механизма (шарниры излома рамы (корпуса), поворотные модули (колесные, гусеничные, рычаги) и т. п.), оценивается число степеней подвижности (активных и пассивных).

В заключении, на основании проведенного анализа, рассматриваемой схеме шасси присваивается формула – некая краткая запись структурного состава шасси МР, составленная по определенным правилам.

Формульная запись схемы шасси МР

Для составления формулы используются буквы русского алфавита (исключение – латинская «S» (от англ. Segway)), арабские цифры и специальные знаки (знак умножения «×» и разделитель «/»).

Обозначения элементов формулы:

К – колесный ЭД;

Г – гусеничный ЭД;

О – ЭД в виде «омниколеса» (колесо типа «mecanum-wheel» в схеме Omni Directional Drive);

Шр – шарообразный ЭД;

Ру – рулевой механизм;

У – управляемый (поворотный) ЭД;

Л – опорный элемент типа «лыжа»;

Н – опорный элемент типа «нога»;

Р – опорный элемент типа «рычаг»;

Б – опорный элемент типа балансирное (рольное) колесо;

Кп – опорный элемент типа пассивное колесо с неподвижной осью;

П – пассивный шарнир (степень подвижности);

А – активный шарнир (степень подвижности);

Ш – шарнир механизма шагания;

М – манипулятор (исполнительное оборудование МР);

Пр – прыгающий механизм;

С – секция сочлененной машины;

мС – обозначение многомодульной сочлененной схемы;

мР – обозначение многомодульной реконфигурируемой схемы;

S – система динамической стабилизации, подобная используемой в мобильных платформах фирмы Segway.

В обозначениях схем принимаются следующие допущения. По умолчанию считается, что колесная схема имеет индивидуальный привод каждого колеса, если это не обозначено дополнительно. Тогда общепринятая для колесной техники запись колесной формулы 4×4 в рамках принимаемых обозначений должна выглядеть как 4×4К (четыре колеса и все четыре ведущих), но в силу сказанного выше заменяется упрощенной формой вида 4К. Аналогично колесная формула 6×6 запишется просто как 6К и т. д.

Формулы составляются по следующим правилам:

- каждый элемент формулы обозначается



прописной буквой или комбинацией из прописной и строчной букв (например: К – колесо, А – активная (приводная) степень подвижности, Ру – рулевой механизм, мС – многомодульная сочлененная схема и т. п.);

- цифра, стоящая перед обозначением элемента, указывает на число этих элементов (например: 4К – четырехколесный движитель, 2А – два активных шарнира механизмов изменения геометрии шасси);

- элементы формулы, имеющие одинаковое количество и стоящие последовательно друг за другом, для сокращения записи объединяются под одной цифрой, которая относится соответственно к каждому из этих элементов. Например: запись 6К6У (шестиколесная схема с шестью управляемыми (поворотными) колесами) сокращается до 6КУ, а запись 4Г4У4А (четырегусеничная схема с четырьмя приводами поворота гусениц вокруг вертикальной оси и четырьмя приводами вращения гусеничных модулей) может быть сокращена до вида 4ГУА;

- знак «×» применяется для указания на нетипичную для мобильных роботов колесную формулу. Например: 4×2К (автомобильная схема: четыре колеса, два ведущих) или 12×4К (двенадцатиколесная схема с четырьмя приводными колесными модулями). Также он может указывать на то, что элементы, следующие после этого знака, содержатся в указанном количестве в каждом из элементов до него. Например: 2СП×2Г1П (двухсекционная сочлененная схема с двухступенным соединительным шарниром, каждая секция которой представляет собой двухгусеничное шасси с одним пассивным шарниром);

знак «/» используется в качестве разделителя, например, для отделения двух следующих друг за другом букв (элементов) в случае, если цифра перед ними относится только к первой букве. Например: 6К/М3А – МР с шестиколесным движителем без механизмов изменения геометрии с использованием для повышения проходимости трехступенного манипулятора [10]. Также он может применяться в обозначениях схем, подобных шасси трехсекционного сочлененного марсохода ВНИИТрансмаш (схема 3С×2К/5А).

Аналогично пошаговой последовательности проведения анализа формула шасси тоже формируется на основе последовательного рассмотрения конструкции шасси (число элементов движителя – число управляемых элементов – тип и состав адаптационных механизмов).

Классификация схем шасси

Результаты анализа структурного состава и кинематических связей СШ МР различных назначений и массогабаритных характеристик представлены в табл. 1, 2. Табл. 1 отведена под колесный и гусеничный классы по принципу передвижения, табл. 2 – остальные. Остановимся подробнее на каждом из них.

Наибольшее распространение среди колесных СШ в силу своей простоты получили четырех- и шестиколесные схемы (4К и 6К) с индивидуальными приводами колес (мотор-колес) и бортовым способом поворота. Двухколесные СШ в силу своей статической неустойчивости различаются по типу применяемой пассивной опоры (в виде рычага или «хвоста» – схема 2К, в виде ролевого колеса – схема 2К/Б) или используют систему динамической стабилизации на основе гироскопических датчиков (схема 2К/С).

Существуют четырехколесные СШ «автомобильного» типа с задними ведущими и передними управляемыми колесами (схема 4×2К1Ру). Как правило, подобные разработки основываются на опыте создания радиоуправляемых машинок для хобби (RC-модели). Также находят применение схемы со всеми управляемыми колесами. В качестве примера можно привести ходовой макет планетохода ХМ-7 [9] ВНИИТрансмаш (схема 6КУ).

Развитием простых колесных схем стало появление СШ с пассивными шарнирами излома корпуса (пример: схема 6К1П, приведенная в [1]), шарнирами подвески (марсоходы NASA (США) – 6КУ4П, ДР РХР (ЦНИИ РТК, Россия) – 6К3П и др.) и приводными (активными) степенями (схема 6К1А в [6], 8К1А и др.), способствующими повышению проходимости МР.

Дальнейшее повышение эффективности и функциональности колесного движителя применительно к наземным РТС связано, во-первых, с совершенствованием конструкции колеса (разработки ВНИИТрансмаш [9], Macroswiss и др.), во-вторых, с созданием гибридных СШ (колесно-шагающие, колесно-гусеничные, колесно-рычажные).

Наиболее распространенные гусеничные СШ типа 2Г в сравнении со схемами 2К и 6К обеспечивают более низкое удельное давление и более высокие тяговые возможности на слабонесущих грунтах, но отличаются несколько большей конструктивной сложностью и большими динамическими нагрузками при преодолении препятствий. Для повышения показателей профильной прохо-

димости применяются схемы гусеничного движителя с изменяемой геометрией (ИГ) различных конструкций: от двухгусеничных СШ с изменяемым положением рычагов с направляющими колесами (2Г1А) до шестигусеничных. Последние применительно к одному борту имеют одну основную и две дополнительных гусеницы, вращение которых осуществляется от одного общего привода. Дополнительные гусеницы устанавливаются на поворотных рычагах с концевыми роликами и направляющими гусениц. Вращение передних и задних рычагов может быть осуществлено как от общих (передних и задних) приводов (схема 6Г2А), так и каждого рычага от своего индивидуального привода (6Г4А).

Стремление к повышению эффективности СШ с гусеничным движителем также привело к появлению различных гибридных схем.

Шагающие СШ МР делятся на схемы с одностепенными цикловыми механизмами шагания (например, марсоход со схемой 2ЛШ разработки ВНИИтрансмаш, шагающая машина «Восьминог» (8Н2Ш) с механизмом шагания «λ-образного» типа ВолгГТУ) и многостепенные, использующие инсектоморфные ноги (робот-паук Asterisk, схема 6Н24Ш), копирующие походку млекопитающих (например, Little Dog, схема 4Н8Ш) или человекоподобные (андроидные роботы со схемами передвижения типа 2Н6Ш, 2Н10Ш).

Гибридные (комбинированные) схемы СШ являются результатом попыток совмещения достоинств различных механизмов передвижения. В первую очередь здесь следует упомянуть разработки колесно-шагающих механизмов.

К этому классу следует отнести «шагающие» (вернее, псевдошагающие) СШ, аналогичные примененной в роботе RHEX. Принцип передвижения этого робота (6РШ) основан на одноосевом вращении каждого из шести рычагов специальной конфигурации, поэтому такой способ передвижения условно можно отнести к шаганию «колесного» типа – рычаги легко могут быть заменены на колеса с превращением СШ в схему 6К. Испытания подобного робота показали хорошие результаты при передвижении в сложных условиях (трава, заросли, россыпи камней и т. п.). Интересной разработкой, которую также можно отнести к схемам с «колесным» шаганием, является двенадцатиколесный транспортный модуль «Торнадо» (НИИ СМ МГТУ имени Н.Э. Баумана, [8]), созданный по схеме типа «Пади-вагон» [9]. СШ это-

го типа условно можно получить путем замены каждого колеса в схеме 4К на колесные модули в виде треугольника, в вершинах которого располагается по отдельному колесу. Получается схема 12×4К4Ш, в которой помимо колесного режима движения возможен также колесно-шагающий режим, при котором приводятся во вращение не отдельные колеса, а трехколесные модули целиком.

Колесно-шагающие СШ могут быть как с одностепенными механизмами шагания (например, ХМ-4 [9] со схемой 6КШ), так и с многостепенными – как у робота Halluc II [5], шасси которого (8КУ×3Ш) имеет 40 (!) приводов (с учетом восьми мотор-колес).

Колесно-рычажные варианты СШ заключаются в добавлении к колесной схеме одного (робот Pointman со схемой 4К1ПРА) или нескольких рычагов (4КР2А), служащих опорами при преодолении значительных препятствий и/или обеспечивающих переворот шасси в случае опрокидывания.

Альтернативными вариантами развития гибридных схем являются упомянутое выше использование манипулятора в схемах 6К/М3А [10], 2Г/М2А, а также появление прыгающих роботов. Высокими адаптационными свойствами характеризуется гусенично-шагающий робот Titan X (Hirose Fukushima Robotics Lab, схема 4ГУН8А) с возможностью передвижения в двух режимах: гусеничном (4ГУА) и шагающем (4Н12Ш).

Особое место среди адаптивных РТС занимают разработки реконфигурируемых шасси, например, СШ, приведенная в [1], с тремя вариантами перенастройки (6Г2А, 4К и 4КР2А).

Перспективным направлением повышения адаптационных способностей шасси МР является создание сочлененных СШ, появившихся как результат простой сцепки однотипных колесных или гусеничных модулей (например, двухгусеничных в роботе Sand Dragon) и развивающихся в сторону создания многомодульных реконфигурируемых самоорганизующихся РТС [4].

Рассмотрены схемные и конструктивные решения, нашедшие применение при создании шасси наземных (напланетных) РТС. Проведен кинематический и структурный анализ большого числа схем шасси. Разработана классификация шасси, основанная на анализе их адаптационных способностей, а также предложены принципы и правила составления оригинальной формуль-

ной записи схемы шасси, служащей для краткого описания ее структурного состава. Использование таких формул удобно при упоминании

рассматриваемой схемы шасси и при выполнении сравнительного анализа различных схемно-конструктивных решений.

Таблица 1

Классификация колесных и гусеничных СШ

Колесные			
Критерий классификации	Описание	Формула	Примеры применения
По числу элементов движителя (колес, гусениц, ног, секций и т. п.)	С жесткой рамой (корпусом), 2-, 3-, 4-, 6-, 8-колесные, с неуправляемыми колесами (бортовым способом поворота)	2К	3P1 и 3P2 (ЦНИИ РТК), Recon Scout (Recon Robotics Inc.), SpyRobot MkI (Macroswiss)
		2К/S	RMP 200 (Segway Robotics)
		4К	«КОТ» (МГТУ имени Баумана), «Скарабей» (СЕТ-1), «Мангуст» [8], SpyRobot 4WD [2], Dragon Runner [2]
		6К	МПК «ТМ3» [8], РТК-04 [1], Scorpion (MacroUSA)
		8К	Rascal (Kentree)
По способу поворота (числу управляемых ЭД)	С управляемыми колесами (рулевыми механизмами или индивидуально)	3КУ	Tri-Star I (Hirose Fukushima)
		4×2К1Ру	«Вездеход-ПЦ» [7], X-Bot [2], TRP3 (OTO Melara)
		4КУ	LRMC (ВНИИТрансмаш)
	6КУ	ХМ-7 [9]	
	С колесами типа Mecanum	4О	youBot (KUKA), RMP50 Omni (Segway Robotics)
По адаптационным способностям (типу и числу элементов адаптации шасси)	Изменяемой геометрии с пассивными шарнирами излома рамы или поворота (перемещения) осей вращения колес (балансирных тележек)	4К1П	ХМ-2 [9], LRV (ARA Inc.), Ratler (Sandia Labs)
		6К1П	Шестиколесная МТП [1]
		6К3П	ДР РХР (ЦНИИ РТК)
Гусеничные			
По числу ЭД (колес, гусениц, ног, секций и т. п.)	Фиксированной конфигурации с жесткой рамой (корпусом), 2-, 4-гусеничные с бортовым способом поворота	2Г	РТК-07 (ЦНИИ РТК), «Варан» [8], Talon, MPRS/URBOT [7], Matilda (Mesa Associates)
По способу поворота (числу управляемых ЭД)	Изменяемой геометрии, с изгибом гусеничной ленты (поворот)	1ГА	Aurora (Automatica Inc.)
По адаптационным способностям (типу и числу элементов адаптации шасси)	Изменяемой геометрии с пассивными или активными шарнирами излома рамы (корпуса) или поворота гусеничных тележек, с активными шарнирами поворота рычагов с гусеницами	2Г1А	Wheelbarrow MK9 (Northrop Grumman), МПК-27 (СКТБ ПР), «Кобра-1600» [8]
			МПК-25, MicroVGTV (Inuktun) Viper [2]
			МР на базе 2Г. СШ с ИГ (ВНИИТрансмаш)
		2ГА	МР на базе 2Г. СШ с ИГ (ВНИИТрансмаш)
		4Г8П	ХМ-3 [9]
		4Г1А	PackBot, SUGV [2], Negotiator (iRobot) Raposa (IdMind)
4Г2А	МПК-26 (СКТБ ПР), Telemax, вариант (TeleroB)		
6Г2А	СМР-01 [1]		

Таблица 2

Классификация шагающих, гибридных и сочлененных СШ

Шагающие			
Критерий классификации	Описание	Формула	Примеры применения
По типу механизма шагания, числу элементов движителя и числу активных степеней подвижности	Шагающие с опорными элементами в виде «лыж» с цикловыми механизмами	2ЛШ	«Лыжно-шагающий» марсоход [9]
		8Н2Ш	«Восьминог» (ВолГТУ)
	Шагающие с опорными элементами в виде «ног» (подобные ногам животных, инсектоморфные или человекоподобные)	4НШ	Cheetach (Boston Dynamics)
		4Н8Ш	Little Dog (Boston Dynamics)
		6Н18Ш	НМША (ИПМ Келдыша), МАША (Ин-т механики МГУ)
		6Н24Ш	Asterisk (Osaka Univer.)
Гибридные (комбинированные)			
По типу адаптационного механизма, числу элементов движителей (колес, гусениц, ног, секций и т. п.) и числу активных степеней подвижности	Шагающие с «колесным» принципом шагания (одноосевое вращение каждого из элементов), с рычагами	4РШ	Whegs (Case West. Reserve Univer.)
		6РШ	RHEX (Boston Dynamics)
	То же, с колесными модулями	12х4К4Ш	МРК «Вебрь», ТМ «Торнадо» [8]
	Колесно-шагающие с рычажными механизмами шагания или типа «ломающаяся рама» (безотрывный способ шагания)	6КШ	Колесно-шагающий робот ХМ-4 (прямо П.Л. Чебышева) [9]
		6К1А	«Транспортный модуль» [6]
	Колесно-шагающие с многостепенными механизмами шагания	4КУШ	Hylos (Paris Univer.)
		8КУ24Ш	Halluc II [5]
	Колесно-гусеничные с поворотными гусеничными секциями	4КГ2А	Telemax, вариант (Telerob)
		4К6Г2А	Andros F6A, вариант (Northrop Grumman)
		6К4Г2А	«ТС с активными приводными тележками» [7]
	Колесно-рычажные со специальными поворотными рычагами	4К1ПРА	Pointman (ARA Inc.), JPP (МГТУ имени Баумана)
		4КР2А	«Колесно-рычажный вариант МТП» [1]
	То же, с добавлением механизма прыгания	4К2Р1АПр	Sand Flea (Boston Dynamics)
	Гусенично-шагающие	4ГА	Chaos (Autonomous Solutions Inc)
		6Г4А	Hibiscus (Чибский технологический институт)
		4ГУН8А	Titan X (Hirose)
	Колесные или гусеничные с использованием исполнительного оборудования в качестве механизма адаптации шасси	6К/М3А	Мобильный робот по [10]
		2Г/М2А	Hibrid mobile robot, Pat. US 7874386
Сочлененные			
По числу секций, числу элементов движителя и числу активных степеней подвижности отдельной секции	С пассивными шарнирами сочленения с колесным или гусеничным движителем секций	2С1Пх2Г	Sand Dragon (Sandia Labs)
		3С2Пх2К	RobuROC 6 (Robosoft SA)
		мС2Пх2К	«Робопоезд» (ЦНИИ РТК)
	С активными шарнирами сочленения с колесным или гусеничным движителем секций	3С1Ах2Г	FootBot [4]
		3Сх2К/5А	Марсоход с цилиндро-коническими колесами (ХМ-8) [9]
		3Сх2КУ/5А2П	IARES-L (ВНИИтрансмаш)
	Многомодульные ползающие	15С2А	«ЗМЕЕЛОК-2» (ЦНИИ РТК)
		9С2Ах6Кп	АСМ-R5 (Hirose) [4]
	Многомодульные реконфигурируемые (самоорганизующиеся)	мР1А, мР2А, мР3А	Poly Bot [4], M-TRAN III [4], SuperBot (Univ. of S. California)



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Васильев, А.В.** Малогабаритный реконфигурируемый мобильный робот [Текст] / А.В. Васильев // Перспективные системы и задачи управления: Матер. VII Всерос. науч.-практи. конф. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – С. 61–71.
2. **Васильев, А.В.** Современное состояние и общие тенденции развития мобильных малоразмерных робототехнических комплексов специального назначения [Текст] / А.В. Васильев // Экстремальная робототехника: Труды XXI Междунар. науч.-техн. конф. – СПб.: Политехника-сервис, 2010. – С. 97–103.
3. **Вонг, Дж.** Теория наземных транспортных средств [Текст] / Дж. Вонг; Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1982. – 213 с.
4. **Иванов, А.В.** Мини- и микроробототехника: Учеб. пособие [Текст] / А.В. Иванов, Е.И. Юревич. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2011. – 96 с.
5. **Карелин, В.** Бот Halluc II ходит на колесах и ездит на ногах [Электронный ресурс] / В. Карелин // Научно-популярный журнал «Мембрана». – Режим доступа: <http://www.membrana.ru/particle/3212> (Дата обращения 01.06.2012)
6. **Кизоркин, А.С.** Алгоритм управления транспортной системой робота на основании показаний внутренних датчиков приводов [Текст] / А.С. Кизоркин // Экстремальная робототехника: Сб. докл. Междунар. науч.-технич. конф. – СПб.: Политехника-сервис, 2011. – С. 207–210.
7. **Космачёв, П.В.** Анализ конструктивных схем двигателей транспортных средств робототехнических комплексов для выполнения антитеррористических операций [Текст] / П.В. Космачёв // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды IX Всерос. науч.-практич. конф. – СПб.: НПО Специальных материалов, 2006. – Т. 5: Экстремальная робототехника. – С. 607–615.
8. Отдел СМ4-6. Специальные мехатронные и робототехнические устройства [Электронный ресурс] / Сайт НИИ НУК СМ МГТУ имени Н.Э. Баумана. – Режим доступа: <http://niism.bmstu.ru/otdelyi-nii-sm/sm4-6> (Дата обращения 01.06.2012)
9. **Кемурджиан, А.Л.** Планетоходы [Текст] / А.Л. Кемурджиан, В.В. Громов [и др.]; Под ред. А.Л. Кемурджиана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 400 с.
10. **Шинов, С.Н.** Использование манипулятора мобильной робототехнической системы для преодоления препятствий [Текст] / С.Н. Шинов // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды X Всерос. науч.-практич. конф. – СПб.: НПО Специальных материалов, 2007. – Т. 5: Экстремальная робототехника. – С. 194–201.