

**Кравченко Павел Павлович**

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kravch@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634314945.

**Kravchenko Pavel Pavlovich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kravch@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634314945.

УДК 004.896:621.865: 623.43

**А.В. Васильев**

**МОБИЛЬНЫЕ МИНИ-РОБОТЫ РАЗВЕДКИ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ,  
ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ И ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ**

*Анализируются текущее состояние и общемировые тенденции в сфере создания малоразмерных робототехнических средств обеспечения разведывательных операций. Выделяются основные принципы и перспективы развития мобильных мини-роботов. Результаты работы могут быть полезны при формировании концептуального облика вновь создаваемой техники рассматриваемого класса.*

*Анализ; мини-робот; мобильный; носимый; легкий; компактный; гусеничный; колесный; шасси; модульность; универсальность; адаптация.*

**A.V. Vasiliev**

**MOBILE SCOUT MINI-ROBOTS: CURRENT STATE, TYPICAL FEATURES  
AND GENERAL PROGRESS TRENDS**

*The current state and worldwide tendencies of small scout robotic tools development are analyzed. The general design principles and trends of small unmanned ground vehicles (SUGV) are extracted. The analysis results may be useful for new SUGV concept development.*

*Assessment; mini-robot; mobile; man-portable; lightweight; compact; tracked; wheeled; chassis; modularity; versatility; adaptation.*

**Введение.** В последнее десятилетие значительно возрос интерес к созданию различных типов сверхлегких и малозаметных робототехнических средств разведки, в том числе мобильных мини-роботов наземного базирования (далее MMP, в зарубежной литературе общепринята аббревиатура SUGV – Small Unmanned Ground Vehicles). Активизация работ в этой области связана с двумя объективными причинами. Во-первых, это доктрина ведения современных боевых действий, предусматривающая максимальную роботизацию вооруженных сил с целью минимизации потерь среди личного состава (а в перспективе – ведение боевых действий только лишь с помощью полу- или полностью автономных робототехнических систем). Примером здесь может служить действующая программа перевооружения армии США “Боевые системы будущего”. Во-вторых, это достигнутые успехи в области оптимизации и миниатюризации всех составных элементов роботов, как комплексных мехатронных систем: электромеханических приводов, ком-

понентов систем управления, вычислительных модулей, датчиков различной природы, источников питания и др., а также развитие информационных, телекоммуникационных и сетевых технологий, теории управления автономными объектами и их группами, методов искусственного интеллекта.

И если к середине текущего десятилетия к ММР можно было отнести лишь единичные разработки [1], например iRobot PackBot, Dragon Runner, BomBot, то на сегодняшний момент созданием подобной техники занимаются во всех ведущих странах мира (табл. 1).

Таблица 1

## Технические характеристики некоторых ММР

Название	Фирма	Страна	Тип шасси	Габарит. разм., мм	Вес, кг	Скорость, м/с	Время работы, ч	Дальность, м
PackBot Scout	iRobot	США	4-гус.	686x520x200	18	2,2...3,9	2...12	800
SUGV320	iRobot	США	4-гус.	607x437x165	14,5	2,8	6	1000
Dragon Runner DR20	QinetiQ NA	США	4-колес	422x310x152	6,4	11,1	1,5	-
			2-гус.	725x330x165	7,7	-	0,75	-
X-Bot	IRT	США	4-колес	533x445x241	13,6	5,3	3,5	500
RHEX	Boston Dynamics	США	шагающий	470x200x120	7,2	2,25	0,1...0,8	600
SpyRobot 4WD	Macroswiss	Швейцария	4-колес	427x290x170	6	2,8	4...12	400
VIPER	Elbit Systems	Израиль	2-гус. трансформ.	460x460x230	11	2,2	4...12	2000
EyeDrive	ODF Optronics	Израиль	4-колес, 2-гус.	280x250x110	2,7	-	3...24	300
Cobra	ECA	Франция	4-колес.	364x392x170	5,6	2,1	2	130
MiniUGV	Eventronic	Испания	4-колес.	340x320x160	2,8	4,2	2	100
Scout	PIAP	Польша	4-колес., 2-гус., 4-гус.	530x543x180	13	2,2...2,8	-	500
X-MUTS	DSTO	Австралия	4-колес.	400x300x120	10	-	0,5	2000
MPK-01	НИИ СМ	Россия	6-колес.	570x480x210	20	0,7	3	60
СМР-01	ЦНИИ РТК	Россия	6-гус. или 4-колес.	390x318x87	12,4	1	4	130

**Особенности мобильных мини-роботов.** Основным критерием для выделения ММР в отдельный класс является ограничение их веса максимум 20 кг (в большинстве разработок 8-15 кг). Такое ограничение следует из требования транспортировки всего робототехнического комплекса (РТК), т.е. мобильного робота вместе с постом управления силами одного, максимум двух человек (рис. 1). В свою очередь, малый вес определяет ряд других особенностей, выделяющих ММР на фоне других РТК. Это:

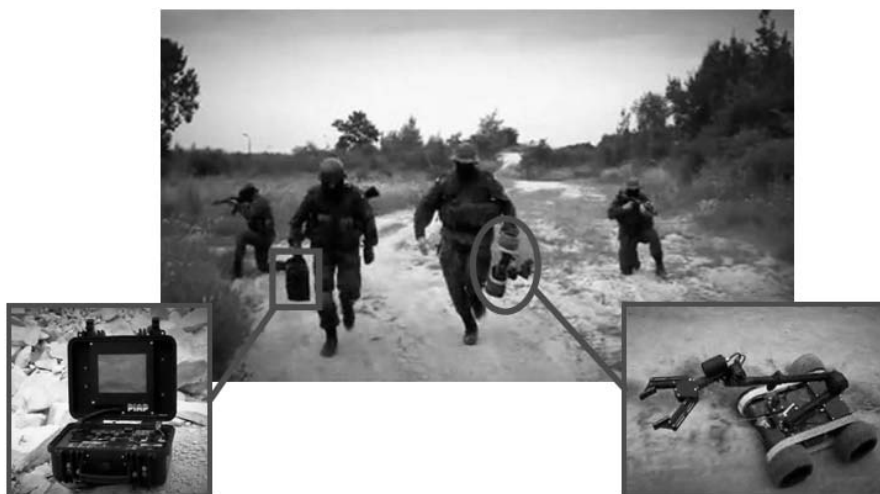
- ◆ оперативная доставка и развертывание комплекса;
- ◆ малозаметность для противника (небольшие размеры);
- ◆ высокая подвижность ММР.

Рост интереса к ММР вполне закономерен. Опыт их применения в Ираке и Афганистане доказал эффективность ММР при решении целого ряда задач. В первую очередь – это видеонаблюдение и разведка при проведении боевых и специальных операций в условиях городской застройки. Главная цель здесь – сохранение личного состава при действиях в потенциально опасной обстановке (вероятность обстрела или подрыва взрывных устройств).

В целом же перед ММР формулируется следующий круг задач (в том числе и перспективных):

- ◆ разведка потенциально опасной обстановки (помещений, подвалов, салонов и днищ автомобилей и т.п.);

- ◆ ведение скрытного аудио- и видеонаблюдения с записью или передачей в реальном времени информации на пост управления;
- ◆ охрана объектов с автоматическим распознаванием нарушителей и выдачей сигнала тревоги оператору;
- ◆ уточнение имеющейся картографической информации;
- ◆ составление плана помещений;
- ◆ доставка и установка в заданной точке легких грузов или спецсредств;
- ◆ обследование и обезвреживание взрывных устройств;
- ◆ контроль химического состава воздуха;
- ◆ ретрансляция связи;
- ◆ отвлечение внимания противника.



*Рис. 1. Доставка мобильного малоразмерного робототехнического комплекса*

**Анализ текущего уровня развития.** Основные требования, предъявляемые к мобильным малоразмерным робототехническим комплексам (ММРК): максимальная подвижность при движении как на относительно ровных поверхностях, так и в условиях пересеченной местности (бордюрные камни, лестницы, травянистые и снежные покровы); максимальный радиус удаления от оператора (не менее 500 м); работоспособность в любых погодных условиях (дождь, снег, пониженная освещенность) и при значительных ударных воздействиях (возможность заброски ММР на небольшие расстояния), минимально возможная стоимость (так как изначально главная цель ММР – “погибнуть”, если придется, на поле боя, сохранив жизни бойцов).

Здесь можно обнаружить несколько противоречий, вытекающих из небольших размеров и веса ММР, их функционального назначения и предъявляемых требований.

Во-первых, широкий круг ставящихся задач, т.е. по сути, универсальность, требует установки на малоразмерный робот большого спектра специального оборудования: от простейших средств аудио- видеонаблюдения, до манипулятора, бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), системы технического зрения (СТЗ) и др. В то же время ММР должен быть максимально прост и дешев.

Разрешить это противоречие может модульный принцип построения ММР. Анализ решений, принимаемых при создании зарубежных разработок, позволяет сделать вывод о первой общей тенденции. Это создание максимально простых и универсальных базовых платформ с большой несущей способностью, универсальными конструктивными и электрическими интерфейсами, предполагающими возможность дальнейшего их дооснащения различными типами навесного оборудования (рис. 2). То есть, по сути, создается целое семейство различных модификаций ММР с возможностью перенастройки под конкретные задачи (PackBot, SUGV300, Dragon Runner DR20, EyeDrive). При этом обеспечивается максимальная гибкость ММРК за счет возможной его адаптации конечным пользователем под требуемые именно ему задачи. Такой подход также способствует упрощению и удешевлению разработки новых типов специального оборудования.

Второе противоречие связано с необходимостью обеспечения подвижности мини-робота в любых условиях движения. В качестве носителей для РТК наземного базирования традиционно применяются мобильные платформы (МП) с колесными или гусеничными движителями, обладающие своими достоинствами и недостатками. С уменьшением размеров МП серьезной проблемой становится обеспечение их движения по пересеченной местности, преодоление препятствий, соизмеримых или даже превосходящих собственные размеры. Следствием этого стало развитие движителей с активными элементами изменения конфигурации шасси (PackBot, SUGV, VIPER, Cameleon, CMP-01 [2]).

Также развиваются теоретические исследования по совершенствованию шагающих движителей. Ряд научно-исследовательских организаций достиг определенного практического результата, в том числе при создании малоразмерных шагающих разведывательных роботов (проект RHEX фирмы Boston Dynamics, США).

Модульный подход применим и при создании шасси ММР. В ряде разработок можно видеть построение на основе некоторой базовой конструкции различных вариантов шасси, в том числе с возможностью перенастройки с одного типа на другой. Например, на базе четырехколесного мини-робота Dragon Runner (QinetiQ North America, США) созданы два двухгусеничных (короткий и удлиненный) и шестиколесный варианты (рис. 2).

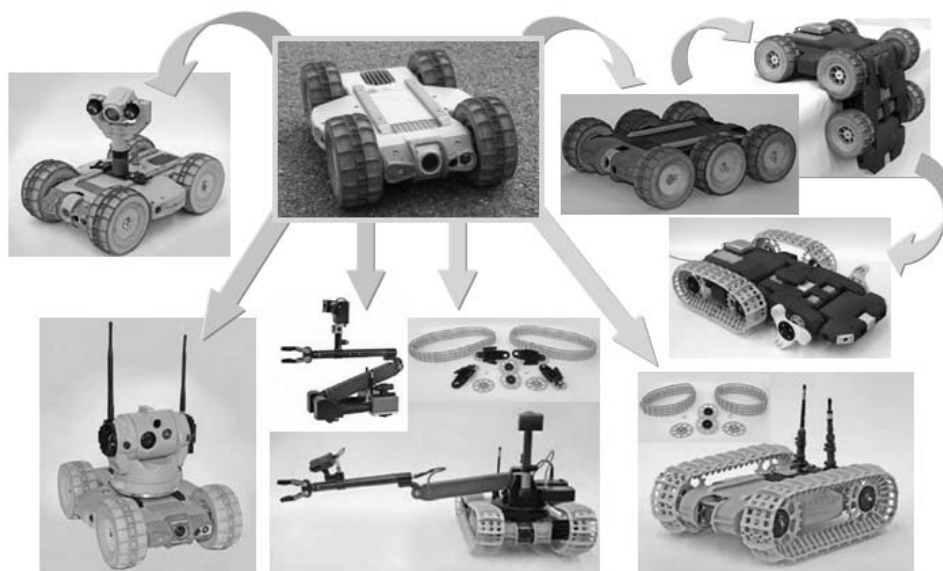


Рис. 2. Модульная архитектура построения ММР (на примере робота DR20)

Весьма перспективным видится дальнейшее развитие такого подхода в виде конструктивного обеспечения возможности оперативной и без использования специального инструмента перенастройки шасси с одного типа движителя на другой. Это дает дополнительную гибкость и возможность адаптации шасси, а следовательно, и ММР в целом к конкретной оперативной обстановке и характеру местности, что в некоторой степени позволяет разрешить второе отмеченное противоречие.

Третье противоречие связано со сложностью управления ММР и все возрастающей нагрузкой на оператора, учитывая очень низкое расположение телекамер и ограниченность получаемой с них информации. Отчасти эта проблема решается установкой на ММР дополнительных устройств, обеспечивающих увеличение высоты наблюдения телекамер и круговой обзор обстановки вокруг робота (SUGV320, EyeDrive). Однако для решения целого спектра задач очевидной становится необходимость повышения автономности и интеллектуализации ММР.

В то же время развитие теории управления коллективами роботов [3] в перспективе должно привести к необходимости организации совместных действий группы полу- или полностью автономных машин. Функция оператора в последнем случае сводится к заданию конечной цели миссии и супервизорному контролю за ходом ее выполнения.

Все это определяет еще одно общее направление развития ММР – их интеллектуализация и соответствующее техническое оснащение с целью обеспечения ориентации робота в пространстве, детектирования препятствий, принятия решений. При этом снова должны учитываться небольшие размеры базовой платформы ММР, а следовательно, в первую очередь должны применяться алгоритмы навигации при ограниченном составе сенсорно-информационной системы, например, навигация по телекамере [4, 5].

Таким образом, анализ существующих аналогов позволяет говорить о следующих общих принципах построения ММР, концептуально определяющих технический облик, как существующих, так и будущих разработок:

- ◆ универсальность базовых модификаций ММР;
- ◆ модульность построения шасси и ММР в целом;
- ◆ гибкость и адаптируемость под конкретные задачи;
- ◆ частичная или полная автономность системы управления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Unmanned Systems Roadmap 2007-2032 / Joint Ground Robotics Enterprise. – [USA], 2007. – P.125-146. – Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.jointrobotics.com/library02.php> (дата обращения: 01.03.2010).
2. *Васильев А.В., Полин А.В.* Мобильный робот-разведчик на базе шестигусеничного движителя с изменяемой геометрией // Мехатроника, автоматизация, управление. – М.: Новые технологии. – 2009. – №3. – С. 24-27.
3. *Каляев И.А., Шеремет И.А.* Военная робототехника: выбор пути // Мехатроника, автоматизация, управление. – М.: Новые технологии. – 2008. – № 2. – С. 32-34.
4. *Степанов Д.Н.* Интеллектуальные системы технического зрения для безопасности и навигации // Научно-технические ведомости СПб ГПУ. – 2008. – № 3. – С. 18-25.
5. *Степанов Д.Н., Батуринов С.С., Миронова М.Ю.* Монокулярные СТЗ и акустические сенсоры в задачах навигации // Материалы Четвертой Всероссийской научно-практической конференции "Перспективные системы и задачи управления". – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 68.

#### **Васильев Андрей Викторович**

Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики.  
E-mail: andrspan@yandex.ru.

194064, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21.  
Тел.: 88125526093; 88125839693.

**Vasil'ev Andrey Viktorovich**  
Central R&D Institute of Robotics and Technical Cybernetics.  
E-mail: andrspan@yandex.ru.  
21, Tikhoretsky pr., St. Petersburg, 194064, Russia.  
Тел.: 88125526093; 88125839693.

УДК 629.11.012

**Г.О. Котиев, В.А. Горелов**

### **ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПО КОЛЕСАМ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*В статье приведено описание предложенного закона распределения мощности по колесам транспортного комплекса с индивидуальной схемой трансмиссии, позволяющего повысить показатели опорной проходимости. Представлена расчётная схема объекта и основные положения разработанной математической модели, предназначенной для имитационного моделирования прямолинейной динамики по несвязному грунту. Обозначены направления дальнейших исследований.*

*Пробитость; закон распределения мощности; нечеткая логика; математическая модель; имитационное моделирование; трансмиссия; контроллер; затраты энергии.*

**G.O. Kotiev, V.A. Gorelov**

### **THE LAW OF DISTRIBUTION CAPACITY ON WHEELS FOR VEHICLE ROBOTIC COMPLEX**

*In article the description of the offered law of distribution of power on wheels of a transport complex with the individual scheme of the transmission is resulted, allowing to raise indicators of basic passableness. The settlement scheme of object and substantive provisions of the developed mathematical model intended for imitating modelling of rectilinear dynamics on an inconsistent ground is presented. Directions of the further researches are designated.*

*Passableness; the law of distribution of power; fuzzy logic; mathematical model; simulation modeling; transmission; the controller; energy expenses.*

Как известно, движение любого колесного объекта по несвязным грунтам характеризуется большими затратами энергии, обусловленными значительным буксованием ( $S_B$ ) ведущих колес. Такое буксование, связанное с экскавацией грунта и бульдозерным эффектом, приводит к значительным энергетическим затратам. Энергетические потери ( $f_w$ ) значительно возрастают с увеличением коэффициента буксования (рис. 1), а коэффициент свободной тяги ( $\varphi$ ) при этом растет незначительно и имеет определенное предельное значение (рис. 2).

Движение возможно только с определенным ограниченным значением свободной тяги. С ростом буксования тяга перестает увеличиваться, и вся энергия двигателя тратится на преодоление увеличивающейся силы сопротивления движению.

Так как удельная свободная сила тяги определяется соотношением реализуемой силы тяги к нормальной нагрузке на колесе  $P_{Xi}/P_{Zi}$ , то для обеспечения опорной проходимости необходимо обеспечить равенство этого соотношения максимально-му значению коэффициента сцепления  $\varphi_{max}$  для текущего опорного основания.