

Наговицин Александр Иванович – Михайловская военная артиллерийская академия; e-mail: alexander@nagovitsin.ru; г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола 22; тел.: +79112160000; кафедра автоматизированного управления ракетными войсками и артиллерией; к.в.н.; доцент.

Севрюков Антон Геннадьевич – e-mail: kft2020@yandex.ru; тел.: +79111407955; отдел организации научной работы.

Nagovicin Alexander Ivanovich – Mikhailovskaya artillery military Academy; e-mail: alexander@nagovitsin.ru; 22, Komsomol street, St. Petersburg, Russia; phone: +79112160000; the department of automated control of rocket troops and artillery; cand. of mil. sc.; associate professor.

Sevryukov Anton Gennad'evich – e-mail: kft2020@yandex.ru; phone: +79111407955; the department of organization of scientific work.

УДК 621.865.8-182.3: 623

И.Л. Ермолов

О ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОВЕНЬ АВТОНОМНОСТИ В ПРОСТРАНСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ ШАССИ НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Целью исследования является определение сравнительного уровня автономности в пространстве транспортных шасси наземных мобильных роботов. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи: изучение списка компонентов робота, входящих в состав транспортной системы (шасси) робота; формирование групп факторов, влияющих на уровень автономности в пространстве транспортной системы робота; детализация факторов, оказывающих наибольшее влияние на автономность шасси робота в пространстве; предложения по автоматизации процесса оценки уровня автономности шасси. Во введении рассматривается вопрос автономности роботов. Обосновывается, почему необходимо повысить уровень автономности роботов, как это влияет на особенности различных применений роботов, какие новые функциональные возможности это открывает. Затем автор рассматривает целесообразность оценки уровня автономности роботов, в чём заключается необходимость такой оценки, и что она даёт. Следующий подраздел посвящён транспортной автономности роботов; отмечается взаимовлияние всех компонентов робота на показатель транспортной автономности. Дальнейшая часть посвящена транспортной компоненте робота, подробно рассматривается её структура и функциональные элементы. Последующий раздел посвящён рассмотрению факторов, влияющих на транспортную автономность робота. Они сгруппированы следующим образом: факторы влияния транспортной системы робота, факторы влияния энергетической системы робота, факторы влияния среды, факторы влияния робота в целом. В данной работе действие отдельных факторов не рассматривается подробно, а делаются ссылки на работы других исследователей. В заключении обсуждается вопрос автоматизации вычисления уровня пространственной автономности.

Наземные мобильные роботы; автономность робота; структура робота; транспортная система (шасси) робота.

I.L. Ermolov

FACTORS AFFECTING UGVs' SPACE AUTONOMY LEVEL

The goal of this study is to create a tool for UGVs' efficiency estimation. As a rule one of main efficiency factors is autonomy level of UGVs. This goal is approached by completing series of tasks. In the beginning author discusses the structure of the Transportation System (chassis) of UGVs. Then main groups of factors affecting UGVs' space autonomy are formed and consequently specified. Final part of the paper is devoted to automation of autonomy estimation. In the introduction

UGVs' autonomy is discussed. Author justifies why it's important to increase UGVs' autonomy, how it affects various applications of UGVs, and which new functional challenges it creates. Later on paper discusses the reasonability to estimate UGVs' autonomy level and what such estimation gives to UGVs' users. Next section discusses mobility module of UGVs: it's structure and main functions. Main part of the paper explores factors affecting space autonomy of UGVs. These are classified as: factors of UGV's mobility module, factors of UGV's energy module, factors of environment and finally factors of UGV as of all-in-one-piece system. This paper doesn't study each of the factors in details but gives references to results of other researchers. At the final part some thoughts are given to discuss how space autonomy level estimation could be computerized.

UGVs; Robot's autonomy; structure of a robot; UGVs' Transportation System (chassis).

Введение. Автономность мобильных роботов является важнейшей задачей отечественной робототехники. Именно роботы с высоким уровнем автономности смогут расширить функциональные возможности роботов и обеспечить высокий уровень применения роботов, как в гражданских применениях, так и для обеспечения обороноспособности и безопасности нашей страны.

- ◆ Применение мобильных роботов в автономном режиме имеет преимущество перед дистанционно управляемым (телеуправляемым) применением мобильных роботов с участие человека-оператора, поскольку человек-оператор зачастую может непреднамеренно сделать ошибку, вызванную неправильным пониманием ситуации, медленным временем реакции, усталостью, потерей концентрации и т.п. Около 80% потерь мобильных роботов оккупационных войск в Ираке были вызваны неправильными действиями со стороны человека-оператора и только 20% пришлись непосредственно на боевые потери.
- ◆ Если роботы будут обладать достаточной автономностью, то снизятся требования к квалификации человека-оператора [8], управляющего ими. Значит, их применение станет дешевле и доступнее. Это подтверждается проявлением такой важной тенденции, как уже наблюдающаяся достаточно острая нехватка операторов для управления мобильными роботами.
- ◆ Автономность мобильных роботов позволяет снизить требования, предъявляемые к среде применения мобильных роботов. Повышение автономности этих роботов позволит применить их в новых средах.
- ◆ Именно автономные мобильные роботы делают возможным одновременное применение мобильных роботов в большом количестве для выполнения единой задачи [13]. Традиционное супервизорное управление невозможно для одновременной координации сотен или тысяч роботов. Для мобильных роботов, управление которыми осуществляется ЭВМ, решение такой проблемы является вполне реализуемым.
- ◆ Автономные мобильные роботы могут функционировать без ограничений, связанных с временными затратами на преобразование информации через человеко-машинный интерфейс, а также временем принятия решения человеком-оператором.
- ◆ Применение роботов в автономном режиме позволит избавиться от таких вторичных, не несущих основной функционально нагрузки компонент робота, как человеко-машинные интерфейсы, коммуникационные компоненты и пр.
- ◆ Функционирование робота в автономном режиме позволит высвободить значительные вычислительные, энергетические и другие ресурсы, которые в телеуправляемых роботах потребляются человеко-машинными интерфейсами.

- ◆ Применение мобильных роботов в автономном режиме позволит повысить устойчивость управления систем автоматического управления (САУ) в составе мобильных роботов, а также расширить применение алгоритмов интеллектуального управления [6, 17, 19].
- ◆ Функционирование мобильных роботов в автономном режиме позволит широко использовать алгоритмы оптимизации функционирования робота, которые позволят оптимизировать функционирование робота по различным критериям (например, временным или энергетическим и др.).
- ◆ Мобильные роботы, функционирующие в автономном режиме, также могут более эффективно использоваться в составе крупных функциональных систем. Это обусловлено более органичным встраиванием их в единую информационно-функциональную систему, например, разрабатываемая для нужд ВС РФ АСУ "Боевое пространство".
- ◆ Применение мобильных роботов с высокой степенью автономности имеет значительное влияние на их специальные применения [2] – военные и специальные операции. Это будет обнаруживаться через целый комплекс явлений – снижение необходимого радиообмена, большая живучесть объектов ВВТ и прочее.
- ◆ Автономные мобильные роботы позволят более активно использовать системы автоматического планирования траектории, позволяющие планировать выполнение мобильными роботами сложных и комплексных заданий, включая комплексное взаимодействие с другими объектами окружающей среды.
- ◆ Мобильные роботы найдут новые области применения. Увеличенная автономность откроет возможности применять мобильные роботы там, где ранее это не представлялось возможным..

Однако при разработке мер по повышению автономности разработчикам роботов необходимо иметь инструмент для оценки уровня автономности.

Оценка уровня автономности роботов является важной научной и технической задачей. В первую очередь, надо выделить следующие случаи, подтверждающие актуальность применения показателя, определяющего уровень автономности робота [11, 12]:

- ◆ При проектировании робота необходимо заранее определить требуемый уровень его автономности, так как это повлияет на его структуру, применяемые технические решения, распределение задач управления между человеком-оператором и системой управления робота;
- ◆ При модернизации роботов применение такого показателя может продемонстрировать эффект применения элементов модернизации в аспекте повышения автономности;
- ◆ Наличие показателя автономности робота позволяет эффективно проводить сравнение различных образцов роботов между собой, включая образцы, значительно отличающиеся по структуре и свойствам. Важно, что показатель автономности фактически является мерой конечного пользователя, т.е. показывает качество (выраженное в количественном отношении) функционирования робота;
- ◆ При планировании применения роботов наличие такого показателя позволит конечному пользователю обоснованно выбрать модель робота с требуемым уровнем автономности (что имеет под собой также важное экономическое обоснование);

- ◆ При эксплуатации робота наличие такого показателя позволит оценить уровень жизнеспособности робота при выходе из строя отдельных компонент в результате естественного износа робота или враждебного взаимодействия с элементами окружающей среды;
- ◆ Наличие такого показателя позволит обоснованно предъявлять требования к уровню подготовки человека-оператора, предполагаемого к участию в управлении таким роботом;
- ◆ Применение показателя автономности позволит обосновывать требования к дружественным устройствам, поддерживающим функционирование робота (например, вышестоящая система управления, склады с ГСМ, всевозможные вспомогательные устройства);
- ◆ Применение показателя, характеризующего автономность робота полезно при планировании операций, задействующих группу из мобильных роботов различных моделей и типов, особенно при необходимости скоординированного управления ими;
- ◆ Применение комплексного показателя, учитывающего разные виды автономности робота, позволит добиться их взаимной сбалансированности, стремясь к принципу синергетики в работе, как мехатронном устройстве.

Для оценки уровня автономности применяют различные подходы.

Многие пользователи используют специализированные шкалы для определения уровня автономности [10].

Однако, по мнению автора, применение шкал имеет недостаток субъективности, и трудно автоматизируется.

Для удобства выражения такого показателя необходимо ввести математические выражения, позволяющие численно отобразить величину автономности [10].

Как было дано определение в [9]: автономность – это способность роботов существовать и выполнять свое функциональное назначение в протяженных времени, пространстве, а также при изменяющихся условиях окружающей среды без необходимости взаимодействия с другими дружественными субъектами или субъектами высшего уровня иерархии.

Автономность в пространстве является одним из видов автономности. Фактически она определяет, на какое расстояние может удалиться робот от дружественных субъектов или субъектов высшего уровня иерархии.

Как показано в [7], автономность обеспечивается группой средств обеспечения. Соответственно, все основные системы робота (рис. 1) влияют на автономность робота.

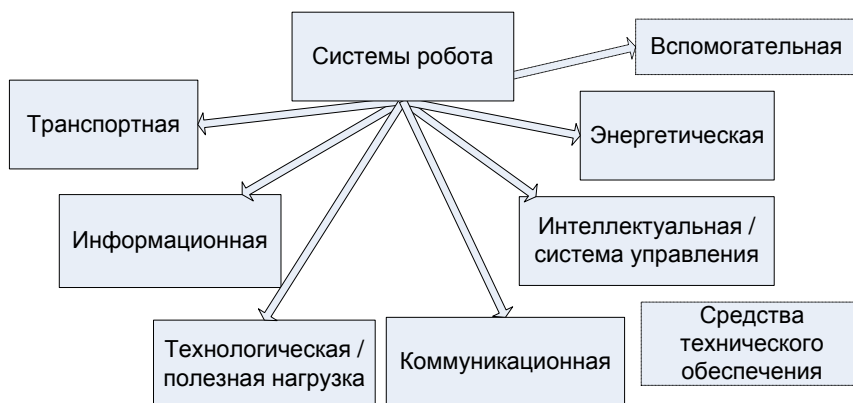


Рис. 1. Структурная модель мобильного робота

Автономность в пространстве определяется, в первую очередь, свойствами транспортной системы робота. Это подтверждает актуальность оценки эффективности различных видов и типов транспортных систем (шасси).

Транспортная система робота является одной из ключевых для мобильных роботов. Она во многом определяет эффективность робота, его функциональные возможности.

Для отечественной робототехники в настоящий момент является крайне актуальной выработка унифицированного типоряда транспортных шасси, на основе которых будут созданы гаммы мобильных роботов различного назначения.

Примеры таких шасси уже созданы несколькими производителями (рис. 2). Однако перед органами, координирующими развитие отечественной робототехники, стоит задача выбора той или иной модели шасси в качестве базовой.



Рис. 2. Примеры наземных роботов, выпускаемых на различных шасси

Транспортное шасси (транспортная система) робота включает себя следующие основные компоненты (рис. 3).

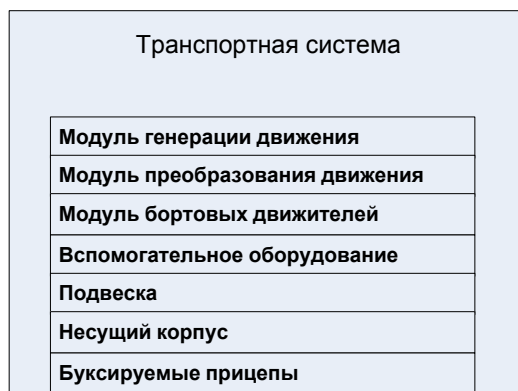


Рис. 3. Транспортная система робота

Модуль генерации движения. Задачей модуля является первичная генерация энергии для движения робота. Технически это, как правило, двигатели (внутреннего сгорания, электрические, гидравлические и пр.).

Модуль преобразования движения. Блок служит преобразования параметров механического движения (как правило, моментов, скоростей и направлений). Технически это разнообразные коробки передач, бортовые редукторы, раздаточные мосты, дифференциалы и подобное.

Модуль бортовых движителей. Задачей модуля является придание роботу движения относительно поверхности. Реализуется путем применения колёс, гусениц, шагающих устройств.

Вспомогательное оборудование. К этому модулю относят оборудование, которое может способствовать движению робота в особых условиях. Например, запасные колёса, сменные колёса (других размеров), цепи на колёса, бревна для самовытаскивания и пр.

Подвеска. Задачами подвески являются физическое соединение бортовых движителей с корпусом, а также обеспечение необходимой плавности хода и лучшего сцепления бортовых движителей с грунтом.

Несущий корпус. Задачей несущего корпуса является механическое фиксирование компонентов МР относительно друг друга. При этом обеспечивается их синхронное перемещение в пространстве, обеспечение возможности взаимодействия, защита от негативных воздействий среды (дождя, воды, солнца, радиации), а также защита от поражения механическим проникающим воздействием (например, осколками и т.п.).

Буксируемые прицепы. Служат в качестве вспомогательного транспортного модуля, однако не имеют собственного привода.

Факторы, влияющие на автономность в пространстве. Определение уровня автономности вообще является достаточно сложным, поскольку, как показано в [2] и [7] уровень автономности определяется не только структурой робота, но и особенностями среды, влияющими на взаимодействие робот-среда.

Укрупнённо факторы, влияющие на автономность в пространстве, можно разбить на следующие 4 основных группы:

- ◆ факторы влияния транспортной системы робота;
- ◆ факторы влияния энергетической системы робота;
- ◆ факторы влияния среды;
- ◆ факторы влияния робота в целом.

Общее распределение групп факторов представлено на рис. 4.

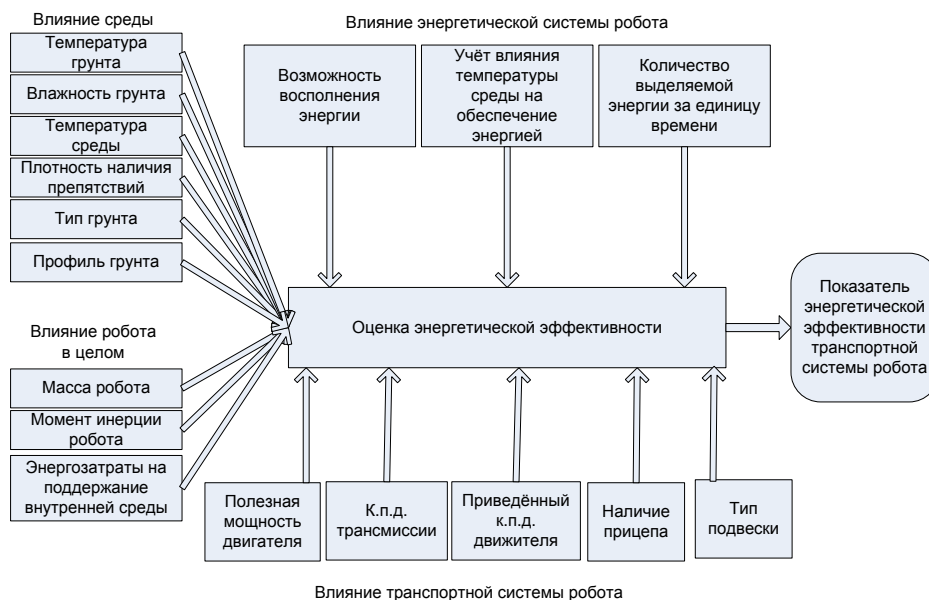


Рис. 4. Факторы, влияющие на автономность робота в пространстве

Важно отметить, что многие из перечисленных факторов достаточно хорошо изучены в инженерии.

Следует отметить, в первую очередь, результаты, полученные в следующих работах: вопросы опорной проходимости грунта [16, 14, 20, 22] взаимодействие колесо-грунт [5, 24, 25] транспортные свойства роботов [3, 15, 18, 23] а также [4], вопросы автоматизации повышения проходимости роботов [1].

Благодаря наличию этого задела, возможна достаточно быстрая автоматизация процесса вычисления автономности робота в пространстве. При её создании могут использоваться модели, разработанные в работах, упомянутых выше, при условии проведения ряда экспериментов, необходимых для уточнения этих моделей (эта проблема рассмотрена, например, в [21]).

Выводы. В рамках создания нового поколения отечественных роботов необходимо провести отбор наиболее перспективных образцов наземных шасси (транспортных модулей), на базе которых, в дальнейшем, создавать различные образцы роботов.

Одним из важных критериев отбора перспективных шасси является автономность транспортного модуля в пространстве.

Такая автономность зависит от комплекса факторов, влияние большинства которых уже хорошо изучено. Однако, по мнению автора, необходима их интеграция в единую модель.

На основе такой модели, после её уточнения на действующих образцах транспортных модулей разработчики получат достаточно универсальный инструмент, позволяющий значительно повысить эффективность наземных роботов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Машков К.Ю., Рубцов В.И., Штифанов Н.В.* Автоматическая система обеспечения опорной проходимости мобильного робота // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». Спец. выпуск «Специальная робототехника и мехатроника». – 2012. – С. 95-106.
2. *Баранов Д.Н., Ермолов И.Л., Плешаков Р.В., Подураев Ю.В.* Повышение автономности мобильного робота "Вездеход-ТМЗ" на основе бортовой системы навигации // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 5.
3. *Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э.* Системы управления движением колесных роботов. – СПб.: Наука, 2001. – 229 с.
4. *Вахламов В.К.* Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей. – М.: Академия, 2007. – 556 с.
5. *Вольская Н.С.* Разработка методов расчета опорно-тяговых характеристик колесных машин по заданным дорожно-грунтовым условиям в районах эксплуатации: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. – М., 2008. – 377 с.
6. *Ермолов И.Л., Сонных М.В.* Применение технологий искусственного интеллекта для распознавания объектов среды функционирования мобильных роботов // Труды Международной научно-технической конференции "Экстремальная робототехника". – СПб., 2012.
7. *Ермолов И.Л.* Повышение автономности мобильных роботов, как важнейшее направление развития современной робототехники // Вестник МГТУ "СТАНКИН". – 2010. – № 2.
8. *Ермолов И.Л., Никитин В.Н., Собольников С.А.* Интерактивный тренажер для операторов мобильных роботов с элементами актуальной адаптации // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 9.
9. *Ермолов И.Л.* Обеспечение автономности в мобильных роботах. Экстремальная робототехника. Нано- микро- и макророботы (ЭР-2009) // Материалы XX Международной научно-технической конференции. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009.
10. *Ермолов И.Л.* Сравнительные меры для оценки автономности мобильных роботов // Труды Симпозиума по робототехнике и мехатронике. Институт проблем управления РАН. – М.: Эксподизайн, 2008.
11. *Ермолов И.Л.* Интеллектуальная система комплексной обработки данных в автономных объектах ВВТ // Известия института инженерной физики. – 2009. – № 2. – С. 21-26.

12. Ермолов И.Л. Автономность мобильных роботов, её меры и пути её повышения // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 6.
13. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов: монография. – М.: Физматлит, 2009. – 278 с.
14. Машков К.Ю., Наумов В.Н. О повышении проходимости транспортных роботов // Оборонная техника. – 2008. – № 1-2. – С. 63-67.
15. Машков К.Ю., Рубцов И.В., Наумов В.Н. Боевые минироботы и обеспечение их подвижности на поле боя // Материалы III Научно практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». – Таганрог, 2008. – Т. 1. – С. 145-147.
16. Наумов В.Н. Развитие теории взаимодействия движителя с грунтом и ее реализация при повышении уровня проходимости транспортных роботов: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. – М., 1993. – 400 с.
17. Носков В.П., Рубцов И.В. Ключевые вопросы создания интеллектуальных мобильных роботов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 3 (15).
18. Кемурджиан А.Л., Громов В.В., Кажукало И.Ф. и др. Планетоходы / под ред. А.Л. Кемурджиана. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1993.
19. Интеллектуальные системы автоматического управления / под ред. И.М. Макарова, В.М. Лохина. – М.: Физматлит, 2001. – 576 с.
20. Tan, Choopar, Y.H. Zweiri, L.D. Seneviratne and K. Althoefer. On-line Soil Property Estimation for Autonomous Excavator Vehicles // IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2003. – P. 121-126.
21. Ermolov I.L., Nikitin V.N., Sobolnikov S.A. Adaptive Simulator for Training Mobile Robots' Operators // Proc. of CLAWAR Conference, Leuven, Belgium, 2011.
22. Suksun Hutangkabodee, Yahya H. Zweiri, Lakmal D. Seneviratne, Kaspar Althoefer. Traversability prediction for unmanned ground vehicles based on identified soil parameters // IFAC World Congress. – 2005. – Vol. 16.
23. Hutangkabodee S., Zweiri Y.H., Seneviratne L.D., Altho K. Multi-solution Problem for Track-Terrain Interaction Dynamics and Lumped Soil Parameter Identification // Vol. 25 of the series Springer Tracts in Advanced Robotics. – P. 517-528.
24. Mostafa Salama and Vladimir V. Vantsevich. Tire-Terrain Normal and Longitudinal Dynamics and Slip Power Losses of an Unmanned Ground Vehicle, ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition Volume 4A: Dynamics, Vibration and Control San Diego, California, USA, November 15–21, 2013.
25. Mostafa Salama and Vladimir V. Vantsevich. Stochastic Terrain Properties - Vehicle Interaction for Agile UGV Dynamics, Conference: the 7th Americas Regional Conference of the ISTVS, At Tampa, Florida, USA.

REFERENCES

1. Mashkov K.Yu., Rubtsov V.I., Shtifanov N.V. Avtomaticheskaya sistema obespecheniya opornoy prokhodimosti mobil'nogo robota [Automatic system of providing support patency of the mobile robot], *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. «Mashinostroenie». Spets. vypusk «Spetsial'naya robototekhnika i mekhatronika»* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering. A special edition of "Special robotics and mechatronics"], 2012, pp. 95-106.
2. Baranov D.N., Ermolov I.L., Pleshakov R.V., Poduraev Yu.V. Povyshenie avtonomnosti mobil'nogo robota "Vezdekhod-TM3" na osnove bortovoy sistemy navigatsii [The increasing autonomy of mobile robot "Terrain-TM3" on the basis of onboard navigation systems], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2008, No. 5.
3. Burdakov S.F., Miroshnik I.V., Stel'makov R.E. Sistemy upravleniya dvizheniem kolesnykh robotov [The motion control system of wheeled robots]. St. Petersburg: Nauka, 2001, 229 p.
4. Vakhlamov V.K. Konstruktsiya, raschet i ekspluatatsionnye svoystva avtomobiley [Design, calculation and operational properties of vehicles]. Moscow: Akademiya, 2007, 556 p.
5. Vol'skaya N.S. Razrabotka metodov rascheta oporno-tyagovykh kharakteristik kolesnykh mashin po zadannym dorozhno-gruntovym usloviyam v rayonakh ekspluatatsii: diss. ... d-ra tekhn. nauk [Development of methods of calculation reference thrust characteristics of wheeled vehicles on a given road and soil conditions in areas of operation. Dr. of eng. sc. diss.]: 05.05.03. Moscow, 2008, 377 p.

6. Ermolov I.L., Sonnykh M.V. Primenenie tekhnologiy iskusstvennogo intellekta dlya raspoznavaniya ob"ektov sredi funktsionirovaniya mobil'nykh robotov [The application of artificial intelligence technology for pattern recognition of the environment of mobile robots], *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Ekstremal'naya robototekhnika"* [Proceedings of International scientific-technical conference "Extreme robotics"]. St. Petersburg, 2012.
7. Ermolov I.L. Povyshenie avtonomnosti mobil'nykh robotov, kak vazhneyshee napravlenie razvitiya sovremennoy robototekhniki [The increasing autonomy of mobile robots, as an important direction of development of modern robotics], *Vestnik MGTU "STANKIN"* [Vestnik «MSTU «STANKIN»], 2010, No. 2.
8. Ermolov I.L., Nikitin V.N., Sobol'nikov S.A. Interaktivnyy trenazher dlya operatorov mobil'nykh robotov s elementami aktual'noy adaptatsii [Interactive simulator for mobile robots with elements of the actual adaptation], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2010, No. 9.
9. Ermolov I.L. Obespechenie avtonomnosti v mobil'nykh robotakh, Ekstremal'naya robototekhnika. Nano- mikro- i makroroboty (ER-2009) [The implementation of autonomy in mobile robots, Extreme Robotech. Nano- micro- and microrobot (ER-2009)], *Materialy KhKh Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials of XX International scientific and technical conference]. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2009.
10. Ermolov I.L. Sravnitel'nye mery dlya otsenki avtonomnosti mobil'nykh robotov [Comparative measures for assessing the autonomy of mobile robots], *Trudy Simpoziuma po robototekhnike i mekhatronike. Institut problem upravleniya RAN* [Proceedings of Symposium on robotics and mechatronics. Institute of control Sciences RAS]. Moscow: Ekspodizayn, 2008.
11. Ermolov I.L. Intellektual'naya sistema kompleksnoy obrabotki dannykh v avtonomnykh ob"ektakh VVT [Intelligent integrated data processing in the Autonomous WME facilities], *Izvestiya instituta inzhenernoy fiziki* [Izvestiya Instituta inzhenernoy fiziki], 2009, No. 2, pp. 21-26.
12. Ermolov I.L. Avtonomnost' mobil'nykh robotov, ee mery i puti ee povysheniya [The autonomy of mobile robots, its measures and ways of its improvement], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2008, No. 6.
13. Kalyaev I.A., Gayduk A.R., Kapustyan S.G. Modeli i algoritmy kollektivnogo upravleniya v gruppakh robotov: monografiya [Models and algorithms of collective control in groups of robots: a monograph]. M.: Fizmatlit, 2009, 278 p.
14. Mashkov K.Yu., Naumov V.N. O povyshenii prokhdimosti transportnykh robotov [On increasing the patency of the transport robots], *Oboronnaya tekhnika* [Defense Technique], 2008, No. 1-2, pp. 63-67.
15. Mashkov K.Yu., Rubtsov I.V., Naumov V.N. Boevye miniroboty i obespechenie ikh podvizhnosti na pole boya [Combat minirobota and ensuring their Mobil-ity on the battle field], *Materialy III Nauchno prakticheskoy konferentsii «Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya»* [Materials of the III Scientific-practical conference "Advanced systems and control problems"]. Taganrog, 2008, Vol. 1, pp. 145-147.
16. Naumov V.N. Razvitie teorii vzaimodeystviya dvizhitelya s gruntom i ee realizatsiya pri povyshenii urovnya prokhdimosti transportnykh robotov: diss. ... d-ra tekhn. nauk [The development of the theory of the interaction of the propeller with the ground and its implementation in raising the level of cross-country robot vehicles. Dr. of eng. sc. diss]: 05.05.03. Moscow, 1993, 400 p.
17. Noskov V.P., Rubtsov I.V. Klyuchevye voprosy sozdaniya intellektual'nykh mobil'nykh robotov [Key issues of creating intelligent mobile robots], *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2013, No. 3 (15).
18. Kemurdzhian A.L., Gromov V.V., Kazhukalo I.F. i dr. Planetokhody [Rovers], Ed. by A.L. Kemurdzhiana. 2nd ed. Moscow: Mashinostroenie, 1993.
19. Intellektual'nye sistemy avtomaticheskogo upravleniya [Intelligent systems of automatic control], Ed. by I.M. Makarova, V.M. Lokhina. Moscow: Fizmatlit, 2001, 576 p.
20. Tan, Choopar, Y.H. Zweiri, L.D. Seneviratne and K. Althoefer. On-line Soil Property Estimation for Autonomous Excavator Vehicles, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2003, pp. 121-126.

21. Ermolov I.L., Nikitin V.N., Sobolnikov S.A. Adaptive Simulator for Training Mobile Robots' Operators, *Proc. of CLAWAR Conference, Leuven, Belgium, 2011*.
22. Suksun Hutangkabodee, Yahya H. Zweiri, Lakmal D. Seneviratne, Kaspar Althoefer. Traversability prediction for unmanned ground vehicles based on identified soil parameters, *IFAC World Congress, 2005, Vol. 16*.
23. Hutangkabodee S., Zweiri Y.H., Seneviratne L.D., Altho K. Multi-solution Problem for Track-Terrain Interaction Dynamics and Lumped Soil Parameter Identification, *Vol. 25 of the series Springer Tracts in Advanced Robotics*, pp. 517-528.
24. Mostafa Salama and Vladimir V. Vantsevich. Tire-Terrain Normal and Longitudinal Dynamics and Slip Power Losses of an Unmanned Ground Vehicle, *ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition Volume 4A: Dynamics, Vibration and Control San Diego, California, USA, November 15–21, 2013*.
25. Mostafa Salama and Vladimir V. Vantsevich. Stochastic Terrain Properties - Vehicle Interaction for Agile UGV Dynamics, *Conference: the 7th Americas Regional Conference of the ISTVS, At Tampa, Florida, USA*.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Н. Наумов.

Ермолов Иван Леонидович – Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»; e-mail: ermolov@stankin.ru; 127994, Москва, Вадковский пер. 3А; тел.: 8499972 9436; д.т.н.; доцент; профессор РАН; Учёный секретарь Научного совета по робототехнике и мехатронике РАН.

Ermolov Ivan Leonidovich – Institute for Problems in Mechanics of Russian Academy of Sciences, Moscow State Technological University "STANKIN", e-mail: ermolov@stankin.ru; 127994, Moscow, Vadkovsky per 3A, phone: +74999729436; dr. of eng. sc.; professor of Russian Academy of Sciences; Secretary of Scientific Council on Robotics and Mechatronics of Russian Academy of Sciences.

УДК 616, 621, 623, 629, 631.

Е.С. Байкова, О.О. Мугин, Д.И. Цыганов

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В СФЕРЕ РОБОТОТЕХНИКИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ ФАНО РОССИИ

Робототехника – одно из самых передовых направлений науки и техники, это междисциплинарное направление, интегрирующее знания о физике, механике и мехатронике, технологии, математике, кибернетике, медицине, и позволяющее вовлечь в процесс инновационного научно-технического развития специалистов из разных областей науки. Стремительное развитие робототехники в мире открывает новые возможности во многих областях науки и жизни современного общества, она играет важную роль в экономике, а также в обеспечении обороноспособности нашей страны. В статье представлен краткий исторический обзор, а также анализ современных тенденций развития робототехники. Показаны последние и наиболее перспективные направления разработки роботизированных систем в России и мире. Приведена уточненная классификация исследований робототехнических систем и сделан прогноз развития робототехники в нашей стране на ближайшие годы. Федеральное агентство научных организаций (ФАНО России) разрабатывает план фундаментальных исследований «Робототехнические комплексы». В данной программе ставится цель координации исследований, имеющих отношение к робототехнике и проводимых в организациях, подведомственных ФАНО России. Агентством был проведён анализ таких исследований, а затем осуществлена классификация их по отраслям и подразделам робототехники. В итоге, были сформированы 6 направлений, в которых сгруппированы основные исследования, проводимые по робототехнике и смежным направлениям. Эти 6 направлений следующие: