

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:*

щие: 1. Механика. 2. Алгоритмы управления. 3. Медицинская робототехника. 4. Морские технологии РТК. 5. Воздушно-космическая робототехника с планетарными приложениями. 6. Сельскохозяйственная робототехника. В рамках этих основных направлений планируется координировать дальнейшие исследования научных организаций.

*Робототехника; фундаментальные исследования; мобильные роботы.*

**E.S. Baykova, O.O. Mugin, D.I. Tsyganov**

## **ROBOTICS RESEARCH DEVELOPMENT FOR ORGANIZATIONS WITHIN THE JURISDICTION OF FASO RUSSIA**

*Robotics is one of the most advanced areas of science and technology. It is an interdisciplinary field that integrates research in physics, mechanics and mechatronics, technology, mathematics, cybernetics, medicine and engages specialists from different scientific fields in an innovative process of scientific and technological development. The worldwide rapid development of robotics opens up new opportunities in many scientific areas and modern life. It plays an important role in the economics and the defence potential of our country. The article presents a brief historical overview and analysis of modern trends in development of robotics. It shows the latest and most advanced areas of development of robotic systems in Russia and in the world. The authors offer refined classification for robotic systems and make the forecast for the development of robotics in the country for an upcoming period. Federal Agency for scientific organizations (FASO Russia) develops a fundamental research program "Robotic systems". The aim is to coordinate the research on robotics for the organizations within the jurisdiction of FASO Russia. The Agency conducted the analysis of these studies, and then classified them by industry and sub-robotics. As a result, 6 areas of implementation were formed: 1. Mechanics. 2. Control Algorithms. 3. Medical Robotics. 4. Marine robotic technology. 5. Aerospace Robotics and its planetary applications. 6. Agricultural Robotics. FASO Russia plans to coordinate the future research of the organizations within its jurisdiction within these main areas.*

*Robotics; fundamental research; mobile robots.*

**Введение.** Робототехника – одно из объединяющих направлений научно-технического прогресса (НТП). Началом формирования робототехники как научно-го направления считается конец 60-х – начало 70-х гг. XX века.

**История и современное состояние.** Однако советская робототехника фактически ведёт своё начало с 1930-х гг., когда был создан телеуправляемый танк ТТ-26. Причём, если в первых образцах роботизировался только процесс поворота танка, то в последующие модели были добавлены функции управления скоростью, наведения, включения огнёмёта и самоподрыва. Ряд образцов ТТ-26 принимал участие в советско-финской войне, однако широкого распространения телетанки не получили.

Важной вехой и первым крупным успехом отечественной робототехники стал запуск "Лунохода-1" и "Лунохода-2". Данные роботы не только успешно выполнили поставленную задачу, но и 41 год держали рекорд по пройденному расстоянию на Луне.

В 60-е годы в СССР в Институте машиноведения им А.А. Благонравова РАН в лаборатории «Теории управления машинами» велась обширная научная работа в области робототехнических систем, в результате которой был создан протез предплечья с биоэлектрическим управлением – первая в мире разработка био-роботизированной системы.

В отечественной промышленности активное применение роботов началось с 1970-х гг., когда стали планомерно создаваться первые образцы промышленных роботов. Особо активное внедрение роботов в промышленность началось после Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 11 июня 1981 г. "Об увеличении производства и внедрении в народное хозяйство автоматических манипуляторов с программным управлением (промышленных роботов) в 1981–1985 годах". С того же периода в Российской академии наук (тогда АН СССР) работает Научный совет по робототехнике и мехатронике.

Однако в тот период внедрение роботов в промышленность происходило не системно. Не всегда ясно определялись цели роботизации, не хватало комплексности подхода при внедрении роботов, внедряемая техника не всегда была достаточно надёжной и долговечной. Таким образом, после ослабления контроля государства за перевооружением промышленности в большинстве отраслей отечественной промышленности роботов перестали использовать.

Исключение составила автомобильная промышленность. Поскольку производство современного автомобиля неэффективно без использования робототехники, то все отечественные автопроизводители продолжали использовать роботов на производстве. Более того, АВТОВАЗ с целью обеспечить себя устойчивыми поставками промышленных роботов, сам стал производить промышленные роботы. Первоначально роботы выпускались по лицензии, а затем (около 2010 гг.) на АВТОВАЗ были разработаны свои собственные модели роботов [20].

В настоящий момент в промышленности роботы наиболее часто используются на операциях сварки, упаковки, покраски, а также в пищевой промышленности. Отечественные промышленные роботы в России на сегодня не выпускаются.

Мобильные роботы стали активно развиваться, начиная с аварии на ЧАЭС в 1987 г. Тогда в кратчайшие сроки были созданы специальные образцы мобильных роботов для ликвидации последствий радиоактивного загрязнения [17]. Начиная с этого времени мобильные роботы стали разрабатываться [7], а также изготавливаться серийно. Основными их потребителями стали ФСБ, МЧС и РОСАТОМ. Для военных применений изготавливались беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [19].

Среди гражданских применений можно отметить работы НПО "Тарис" по серийному производству роботов для коммунальных служб.

На сегодняшний день гражданских применений мобильных роботов много, но, в основном, они концентрируются вокруг сферы обучения и развлечений.

Робототехника имеет перспективы и в сельском хозяйстве. Так в 1981 г. отделом сельскохозяйственной робототехники при Московском институте инженеров сельскохозяйственного производства имени В.П. Горячкина был разработан и испытан образец мобильного автономного робота (МАР-1) для обслуживания животноводческого комплекса. В настоящее время роботизированные сельскохозяйственные машины эффективны для применения в технологиях точного земледелия [9].

Отдельным направлением всегда оставалась медицинская робототехника. С момента первого применения роботической хирургической системы в 2000 году робот – ассистированная технология приобрела широкую популярность по всему миру. Применение роботов широко распространено в различных профессиональных отраслях. Робот–ассистированная техника выполнения оперативных вмешательств в настоящее время является наиболее инновационным направлением в медицине [11, 12, 13]. К настоящему времени робот-ассистированная техника выполнения многих хирургических вмешательств представляет собой «золотой стандарт» оперативного лечения заболеваний. Важным шагом в эволюции роботической хирургии стало развитие идеи дистанционной телероботической хирургии. Концепция данного проекта состояла в том, что хирург находится у консоли, а компьютер транслирует его движения на манипуляторы, расположенные в организме пациента. Непосредственно телеробот должен находиться у операционного стола и быть способным манипулировать не только камерой, но и несколькими «руками» с инструментами. В настоящее время доступны для широкого использования две роботические хирургические системы: система ZEUS и система Da Vinci.

Также отдельным большим направлением является морская и подводная робототехника в связи с тем, что Мировой океан остается самой привлекательной и одной из наименее освоенных сред, окружающих человека. За последние десятилетия значительный прогресс ключевых технологий позволил ведущим странам сделать шаг к созданию самых современных технических средств исследования и освоения океана. В общей структуре работ по созданию эффективных технологий исследований и освоения ресурсов Мирового океана работы по созданию подводных робототехнических средств относятся к числу важнейших. Начатые во второй половине прошлого века, эти работы в настоящее время, благодаря прогрессу в микроэлектронике и вычислительной технике, большим достижениям в области источников энергии большой емкости, созданию современных конструкционных материалов, становятся приоритетными для многих стран, расширяющих и развивающих морские и подводные технологии. Большое место в современных подводных технологиях отводится автономным роботам [5].

Наряду с такими тематическими направлениями (кластерами) робототехники, как морская, медицинская, воздушно–космическая, сельскохозяйственная, существуют еще базовые кластеры: механика и управление.

В механике перспективные исследования [10] ведутся в области кинематики и динамики роботов, поиску новых принципов движения роботов, оптимизации конструкций имеющихся роботов [14, 15, 16].

В настоящее время прорабатывается несколько технологий управления комплексами РТК: начиная от вариантов дистанционного управления данными комплексами соответствующими боевыми расчетами и заканчивая полностью автономными режимами группового управления РТК. При этом необходимость использования режимов автономного группового функционирования может быть вызвана как потерей каналов радиоуправления со стороны соответствующих боевых расчетов (например, помехи, уничтожение элементов телекоммуникационной системы и т.п.), так и полным их отсутствием, в том случае, когда требуется обеспечить высокую скрытность действий РТК. Указанное расширение функциональных возможностей РТК может быть достигнуто в случае интеграции целевой аппаратуры РТК с бортовыми обеспечивающими системами, способными по данным и информации, полученным мультисенсорными информационно-измерительными и управляющими подсистемами, входящими в состав РТК, оперативно решать задачи управления групповым поведением данных комплексов в различных условиях обстановки. Главная особенность реализации указанных процессов управления состоит в том, что они будут протекать в условиях существенной неопределенности, связанной с активным противодействием противника, и острого дефицита времени, выделяемого на подготовку и принятие решений [18]. Традиционные подходы к организации процессов управления техническими системами, базирующиеся на концепциях классической теории управления и теории вероятностей, в данных ситуациях применять нецелесообразно [8], т.к., во-первых, отсутствуют соответствующих исходные данные и, во-вторых, чрезвычайно высока динамика изменения внешней обстановки в районах применения РТК.

Задачи группового управления роботами [6] исследуются примерно с середины 1980-х гг. Ее предшественниками были теория игр, теория автоматов (проблемы целесообразного поведения автоматов, формулировка иерархического принципа построения сложных систем), математические методы в биологии. В русскоязычной литературе наиболее значимые работы, опубликованные до появления современных теорий коллективного поведения роботов, охватывают период с 1964 по 1985 гг. Эти работы базировались, в основном, на вероятных моделях адаптивного поведения множеств простых автоматов в средах с ограничениями. Они, наряду с зару-

бежными работами этого периода, которые также рассматривали вероятностную постановку задачи коллективного поведения, фактически подготовили теоретический базис группового управления роботами. Однако, по своей сути, они рассматривали намного более простые модели целеполагания и модели взаимодействия.

**Классификация робототехнических систем.** Таким образом, складывается современная классификация робототехнических систем по направлениям:

- ◆ Механика РТК (базовое направление).
- ◆ Алгоритмы управления (базовое направление).
- ◆ Медицинская робототехника.
- ◆ Морские технологии РТК;
- ◆ Воздушно-космическая робототехника с планетарными приложениями.
- ◆ Сельскохозяйственная робототехника.

В рамках данной классификации и в настоящее время формируется Комплексно-тематический план фундаментальных научных исследований «Робототехнические комплексы», призванный учесть государственные приоритеты в области науки и техники [1–4].

**Прогноз по развитию РТК.** Реализация Комплексно-тематического плана фундаментальных научных исследований «Робототехнические комплексы» ФАНО России и внедрение его результатов в реальный сектор экономики при поддержке заинтересованных министерств и ведомств позволит достичь следующих ключевых результатов в ближайшие 10–15 лет:

- ◆ Снижение стоимости роботизированного комплекса роботхирургии в 3–4 раза по сравнению с 2015 годом.
- ◆ Создание робота–диагноста и робота–терапевта.
- ◆ Создание универсальной роботизированной хирургической системы общехирургического плана, а также требующих высокой точности в минимальных величинах объектов.
- ◆ Уменьшение размеров хирургического робототехнического комплекса в 3–5 раз по сравнению с аналогами 2015 года.
- ◆ Увеличение точности манипуляций хирургического робототехнического комплекса в 10 раз по сравнению с аналогами 2015 года.
- ◆ Создание мобильного хирургического робототехнического комплекса.
- ◆ Создание средств гидроакустической связи для управления роботизированными системами.
- ◆ Поиск, обследование и ремонт затонувших объектов, подводных сооружений и коммуникаций подводными роботизированными системами.
- ◆ Проведение геолого–разведочных работ, картографирования рельефа подводными роботизированными системами.
- ◆ Создание роботизированной системы подледной работы, в том числе на арктическом дне.
- ◆ Роботизированная система мониторинга водной среды.
- ◆ Создание подводного робота–спасателя, робота–сапёра, робота–патрульного, противолодочного робота.
- ◆ Создание роботизированной системы наблюдения и глобального долговременного мониторинга морских акваторий.
- ◆ Создание гидроакустических каналов связи.
- ◆ Создание новых материалов с положительной плавучестью, защитой от коррозий и обрастаний.
- ◆ Создание самообучаемой роботизированной системы.
- ◆ Создание гидроакустической системы технического зрения.

- ◆ Создание роботизированных систем работающих при давлении до 1000 атм.
- ◆ Создание робототехнической системы с возобновляемым источником энергии.
- ◆ Создание бесшумных двигателей.
- ◆ Создание роботизированных причалов.
- ◆ Создания роботизированной тяжелой военной техники.
- ◆ Создание роботизированной военной техники поддержки основной тактической группы.
- ◆ Создание роботизированного наземного транспорта.
- ◆ Создание универсальных полностью автоматизированных производственных линий.
- ◆ Создание роботизированных систем защищенных от радиоактивного воздействия.
- ◆ Создание роботизированных систем для коммунальных служб.
- ◆ Создание роботизированной системы передвижения земля-вода-воздух.
- ◆ Создание роботизированных ферм.
- ◆ Создание роботизированных имплантатов доступных для потребителя «среднего класса».
- ◆ Появление роботизированных систем интегрируемых в систему «умный дом».
- ◆ Создание водородных и метанольных топливных систем.

**Выводы.** Робототехника является мультидисциплинарной областью науки, она затрагивает широкий спектр фундаментальных исследований. Также необходимо отметить универсальность областей применения роботов. Учитывая важность робототехники, ФАНО России предпринимает меры по эффективной координации исследований в области робототехники в подведомственных институтах.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 году, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 03 декабря 2012 года 2237-р.
2. Положение о Федеральном агентстве научных организаций, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 25 октября 2013 г. № 959.
3. Указ Президента Российской Федерации от 16 декабря 2015 года № 623 «О Национальном центре развития технологий и базовых элементов робототехники».
4. Указ Президента Российской Федерации от 07 июля 2011 года № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».
5. *Ермолов И.Л.* Автономность мобильных роботов, её меры и пути её повышения // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 6.
6. *Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г.* Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов: монография. – М.: Физматлит, 2009. – 278 с.
7. *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.
8. Интеллектуальные системы автоматического управления / под ред. И.М. Макарова, В.М. Лохина. – М.: Физматлит, 2001.
9. *Grau J.B., Anton J. M., Packianather M.S., Ermolov I., Aphanasiev R., Cisneros J.M., Cortina-Januchs M.G., Jevtic Aleksandar, Andina D.* Sustainable Agriculture Using an Intelligent Mechatronic System // Proc. IECON: 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics. Vols. 1-6. – P. 3240-3245.
10. *Чернуосько Ф.Л.* Динамика и оптимизация локомоций мобильных робототехнических систем // Международной конференции по математической теории управления и механике г. Суздаль 2015 г. ([http://www.mathnet.ru/php/presentation.phtml?option\\_lang=rus&presentid=12025](http://www.mathnet.ru/php/presentation.phtml?option_lang=rus&presentid=12025)).

11. Цыганов Д.И. Использование новых биомедицинских технологий в лечении сосудистых новообразований у детей // Материалы III Московского Международного конгресса «Биотехнологии: состояние и перспективы развития». – М., 2005. – С. 169.
12. Цыганов Д.И. Теоретические и экспериментальные основы создания крио-хирургической аппаратуры и медицинских технологий ее применения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: ВНИИИМТ. 1994. – 47 с.
13. Цыганов Д.И. Теплофизические аспекты криохирургии. – М.: Российская медицинская академия последипломного образования, 2005. – 184 с.
14. Леонтьев Н.В., Мугин О. Г., Мугин О.О. Механические передачи на основе эпициклоиды и гипоциклоиды // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 4-5. – С. 2308-2310.
15. Мугин О.О., Синёв А.В. Динамический гаситель с гидравлическим инерционным трансформатором движения при динамических, сильно не линейных нагрузках // Вестник научно-технического развития. – 2012. – № 12. – С. 11-16.
16. Мугин О.Г., Мугин О.О., Синёв А.В. О замечательных свойствах эпициклоиды и гипоциклоиды в применении к механическим передачам // Вестник научно-технического развития. – 2013. – № 1. – С. 28-32.
17. Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э. Системы управления движением колёсных роботов. – СПб.: Наука, 2001. – 227 с.
18. Градецкий В.Г., Рачков М.Ю. Роботы вертикального перемещения. – М.: РАН, Отделение проблем машиностроения, механики и процессов управления, 1997. – 223 с.
19. Пешехонов В.Г. Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации // Сборник докладов и статей / под общей ред. акад. РАН В.Г. Пешехонова. Составитель д.т.н. О.А. Степанов. – СПб.: ГНЦ РФ – ЦНИИ Электроприбор, 2001. – 235 с.
20. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб. пособие для студентов ВУЗов. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.

## REFERENCES

1. Programma fundamental'nykh nauchnykh issledovaniy gosudarstvennykh akademiy nauk na 2013–2020 godu, utverzhennaya rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 03 dekabrya 2012 goda 2237-r [The program of fundamental scientific research of state academies of Sciences for 2013-2020 year, approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated 03 December 2012 2237-R].
2. Polozhenie o Federal'nom agentstve nauchnykh organizatsiy, utverzhdennoe postanovleniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 25 oktyabrya 2013 g. № 959 [Position about Federal Agency of scientific organizations, approved by the decree of the Government of the Russian Federation from October 25, 2013 No. 959].
3. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy federatsii ot 16 dekabrya 2015 goda № 623 «O Natsional'nom tsentre razvitiya tekhnologiy i bazovykh elementov robototekhniki» [The decree of the President of the Russian Federation from December 16, 2015 No. 623 "On the National centre of technology development and the basic elements of robotics"].
4. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 07 iyulya 2011 goda № 899 «Ob utverzhdenii prioritetnykh napravleniy razvitiya nauki, tekhnologiy i tekhniki v Rossiyskoy Federatsii i perechnya kriticheskikh tekhnologiy Rossiyskoy Federatsii» [The decree of the President of the Russian Federation of July 07, 2011 № 899 "On approval of priority directions of science, technologies and technics in Russian Federation and list of critical technologies of the Russian Federation"].
5. 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.
6. 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]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 278 p.
7. 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.

8. Intellektual'nye sistemy avtomaticheskogo upravleniya [Intelligent systems of automatic control], Ed. by I.M. Makarova, V.M. Lokhina. Moscow: Fizmatlit, 2001, 576 p.
9. *Grau J.B., Anton J. M., Packianather M.S., Ermolov I., Aphanasiev R., Cisneros J.M., Cortina-Januchs M.G., Jevtic Aleksandar, Andina D.* Sustainable Agriculture Using an Intelligent Mechatronic System, *Proc. IECON: 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics* 6 Vol. 1-6, pp. 3240-3245.
10. *Chernous'ko F.L.* Dinamika i optimizatsiya lokomotsiy mobil'nykh robototekhnicheskikh sistem [Dynamics and optimization of locomotion of mobile robot systems], *Mezhdunarodnoy konferentsii po matematicheskoy teorii upravleniya i mekhanike g. Suzdal' 2015 g.* [International conference on mathematical control theory and mechanics Suzdal, 2015]. Available at: [http://www.mathnet.ru/php/presentation.phtml?option\\_lang=rus&presentid=12025](http://www.mathnet.ru/php/presentation.phtml?option_lang=rus&presentid=12025).
11. *Tsyganov D.I.* Ispol'zovanie novykh biomeditsinskikh tekhnologiy v lechenii sosudistykh novoobrazovaniy u detey [The use of new biomedical technologies in the treatment of vascular tumors in children], *Materialy III Moskovskogo Mezhdunarodnogo kongressa «Biotekhnologii: sostoyanie i perspektivy razvitiya»* [Materials of the III Moscow International Congress "Biotechnology: condition and development prospects"]. Moscow, 2005, pp. 169.
12. *Tsyganov D.I.* Teoreticheskie i eksperimental'nye osnovy sozdaniya krio-khirurgicheskoy apparatury i meditsinskikh tekhnologiy ee primeneniya: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk [Theoretical and experimental basis for the creation of the cryo-surgical instruments and medical technology its applications: abstract. Dr. of eng. sc. diss.]. Moscow: VNIIMT. 1994, 47 p.
13. *Tsyganov D.I.* Teplofizicheskie aspekty kriokhirurgii [Thermal aspects of cryosurgery]. Moscow: Rossiyskaya meditsinskaya akademiya posle diplomnogo obrazovaniya, 2005, 184 p.
14. *Leont'ev N.V., Mugin O. G., Mugin O.O.* Mekhanicheskie peredachi na osnove epitsikloidy i gipotsikloidy [Mechanical transmission on the basis of epicycloid and hypocycloid], *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod], 2011, No. 4-5, pp. 2308-2310.
15. *Mugin O.O., Sinev A.V.* Dinamicheskii gasitel' s gidravlicheskimi inertsionnymi transformatorami dvizheniya pri dinamicheskikh, sil'no ne lineynykh nagruzkakh [Dynamic damper with hydraulic inertial TRANS-formation of motion for dynamic, strongly non-linear loads], *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya* [Bulletin of Scientific-Technical Development], 2012, No. 12, pp. 11-16.
16. *Mugin O.G., Mugin O.O., Sinev A.V.* O zamechatel'nykh svoystvakh epitsikloidy i gipotsikloidy v primenenii k mekhanicheskim peredacham [About the wonderful properties of epicycloid and hypocycloid in application to mechanical gear], *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya* [Bulletin of Scientific-Technical Development], 2013, No. 1, pp. 28-32.
17. *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, 227 p.
18. *Gradetskiy V.G., Rachkov M.Yu.* Roboty vertikal'nogo peremeshcheniya [Climbing robots]. Moscow: RAN, Otdelenie problem mashinostroeniya, mekhaniki i protsessov upravleniya, 1997, 223 p.
19. *Peshkhonov V.G.* Integrirovannye inertsial'no-sputnikovye sistemy navigatsii [Integrated inertial-satellite navigation systems], *Sbornik dokladov i statey* [A collection of reports and articles], Ed. by akad. RAN V.G. Peshekhonova. Compiler dr. of eng. sc. O.A. Stepanov. St. Petersburg: GNTs RF – TsNII Elektropribor, 2001, 235 p.
20. *Poduraev Yu.V.* Mekhatronika: osnovy, metody, primeneniye: ucheb. posobie dlya studentov VUZov [Mechatronics: fundamentals, methods, applications: proc. textbook for University students]. Moscow: Mashinostroenie, 2006, 256 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Х. Пшихопов.

**Байкова Евгения Сергеевна** – Федеральное агентство научных организаций (ФАНО России); e-mail: baykova@fano.gov.ru; 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 32а; тел./факс: +74996060101; +74956483848; заместитель начальника отдела координации деятельности учреждений в сфере математических наук и информационных технологий Управления координации и обеспечения деятельности организаций в сфере науки.



**Мугин Олег Олегович** – e-mail: mugin@fano.gov.ru; к.т.н.; советник отдела программного проектирования Управления координации и обеспечения деятельности организаций в сфере науки.

**Цыганов Дмитрий Игоревич** – e-mail: tsyganov@fano.gov.ru; д.т.н.; профессор; заместитель начальника Управления координации и обеспечения деятельности организаций в сфере науки.

**Baykova Evgeniya Sergeevna** – The Federal Agency for Scientific Organizations (FASO Russia); e-mail: baykova@fano.gov.ru; 32A, Leninsky prospekt, 119334, Moscow, Russia; phone/fax: +74996060101, +74956483848; Mathematics and IT Div. of Science Coordination Department, FASO Russia.

**Mugin Oleg Olegovich** – e-mail: mugin@fano.gov.ru; cand. of eng. sc.; Programs & Projects Div. of Science Coordination Department, FASO Russia.

**Tsyganov Dmitriy Igorevich** – e-mail: tsyganov@fano.gov.ru; dr. of eng. sc.; professor, Science Coordination Department.

УДК 004.5

**Н.А. Павлюк, В.Ю. Будков, М.М. Бизин, А.Л. Ронжин**

### **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УЗЛА НОГИ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА АНТАРЕС НА ОСНОВЕ ДВУХМОТОРНОГО КОЛЕНА\***

*Рассматривается задача проектирования конструктивных решений ног для антропоморфных роботов, приводится обзор существующих антропоморфных роботов с анализом сервоприводов и несущих деталей, а также конструкций и решений в целом, задействованных при разработке сборке ног роботов. Предложен вариант конструкции ног для разрабатываемого робота Антарес. Используемая в колене двухмоторная компоновка обеспечивает большую мощность узла, независимое взаимодействие с соседними узлами бедра и голени при сгибе, кроме того, удалось достичь большего угла сгиба ноги в колене по сравнению с одномоторной компоновкой колена, минимизировано смещение центра масс при выполнении простых движений. Каждая нога имеет 6 независимых от остальных узлов робота степеней свободы, в сборке с тазовым механизмом количество степеней свободы на каждую ногу в отдельности возрастает до 7, в целом разработанное решение ног для антропоморфного робота Антарес имеет 14 степеней свободы. На этапе изготовления прототипа для проверки и отладки работы узлов в конструкции используются сервоприводы Dypatixel, производства компании Robotis. Для снижения электрической нагрузки на основной аккумулятор робота в бедренных отделах ног предусмотрена установочная площадка для вспомогательных аккумуляторов, осуществляющих питание сервоприводов. Приведены технические характеристики используемых сервоприводов, углы поворотов узлов ног, описаны углы поворотов отдельных узлов. Для ускорения работы и экономии процессорного времени основного вычислительного модуля непосредственное управление сервоприводами выполняется посредством вспомогательных контроллеров, отвечающих за работу всех 6 двигателей, установленных в суставных узлах каждой ноги робота. Разрабатываемый робот ориентирован на применение в образовательных целях для участия в соревнованиях роботозуфболистов, также рассматривается возможность их использования при разработке ассистивных технологий человеко-машинного взаимодействия на основе многомодальных интерфейсов.*

*Антропоморфные роботы; сервоприводы; кинематическая схема; Антарес; конструкции деталей; двухмоторное колено; тазовый механизм.*

\* Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 0073-2015-0003 при частичной поддержке гранта РФ № 16-19-00044.