



ER-2019



ABSTRACTS

of the 30th International Scientific and Technological Conference
"EXTREME ROBOTICS"
June 13-15, 2019, Saint-Petersburg, Russia

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

30-ой Международной научно-технической конференции
"ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА"
13-15 июня 2019, Санкт-Петербург, Россия

of the International Scientific & Technological Conference
EXTREME ROBOTICS

ABSTRACTS



ER.RTC.RU

ISSN 2310-5305 (Print)
ISSN 2312-6612 (Online)
Включен в базу данных РИНЦ
с 06.05.2014

РОБОТОТЕХНИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ROBOTICS and TECHNICAL CYBERNETICS
SCIENTIFIC & TECHNICAL JOURNAL

Подписной индекс в каталоге «Роспечать» - 59896

Выпускается с 2013 года

Журнал «Робототехника и техническая кибернетика» с 29.05.2017 включён в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», сформированный в соответствии с приказом Минобрнауки России от 25 июля 2014 г. № 793 с изменениями, внесенными приказом Минобрнауки России от 03 июня 2015 г. № 560 и Правилами на основе рекомендаций Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Минобрнауки России

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

- Содействие повышению научно-технического и технологического уровня создаваемых средств робототехники и технической кибернетики
- Информационная поддержка профильных организаций
- Анализ и прогнозирование научно-технического развития робототехники и технической кибернетики, обсуждение проблем высшей школы, рецензирование учебников и учебных пособий
- Привлечение молодых специалистов к деятельности журнала, предоставление им «площадки» для публикации результатов их научной и практической деятельности

ИЗДАТЕЛЬ

Журнал издаётся Государственным научным центром Российской Федерации федеральным государственным автономным научным учреждением «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК)

Адрес редакции:
Россия, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21
Тел.: +7(812) 552-13-25, e-mail: zheleznyakov@rtc.ru,
www.rusrobotics.ru



ОРГАНИЗАТОР КОНФЕРЕНЦИИ

Государственный научный центр Российской Федерации
«Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский
институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК)

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК один из крупнейших исследовательских центров России. Институт обладает развитой научноисследовательской и конструкторскотехнологической базой, уникальными испытательными стендами и опытным производством.

CONFERENCE ORGANISER

Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics

The Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, one of the largest research centers in Russia. The Center has a developed research and designengineering base, unique testing facilities and pilot production.

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



Российская Академия Наук

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

ЖУРНАЛ «Мехатроника, автоматизация, управление»
ЖУРНАЛ «Робототехника и техническая кибернетика»
ЖУРНАЛ «Новый Оборонный Заказ. Стратегии»
ЖУРНАЛ «Труды СПИИРАН»

INFORMATION SUPPORT

JOURNAL «Mechatronics, Automation, Control»
JOURNAL «Robotics and Technical Cybernetics»
JOURNAL «New Defensive Order. Strategy»
JOURNAL «Proceedings SPIIRAS»

Сборник тезисов

30-й Международной научно-технической конференции

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

13-15 июня 2019 года, Санкт-Петербург

Abstracts

of the 30th International Scientific and Technological Conference

EXTREME ROBOTICS

June 13-15, 2019, Saint-Petersburg, Russia



er.rtc.ru

УДК 004.896:007.5
ББК 32.813
Э41

Сборник тезисов 30-й международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА» (International scientific and technological conference «EXTREME ROBOTICS»). – Санкт-Петербург: ООО "Издательско-полиграфический комплекс "Гангут", 2019. – 510 с.

Сборник тезисов отражает круг актуальных проблем и задач в сфере робототехнических систем и средств безопасности, представленных на 30-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Тезисы опубликованы в авторской редакции.

Дизайн Ирины Купцовой, kuptzova@rtc.ru

Abstracts of the 30th International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS». – Saint Petersburg: ООО "Izdatel'sko-poligraficheskii kompleks "Gangut" Publ., 2019. – 510 p.

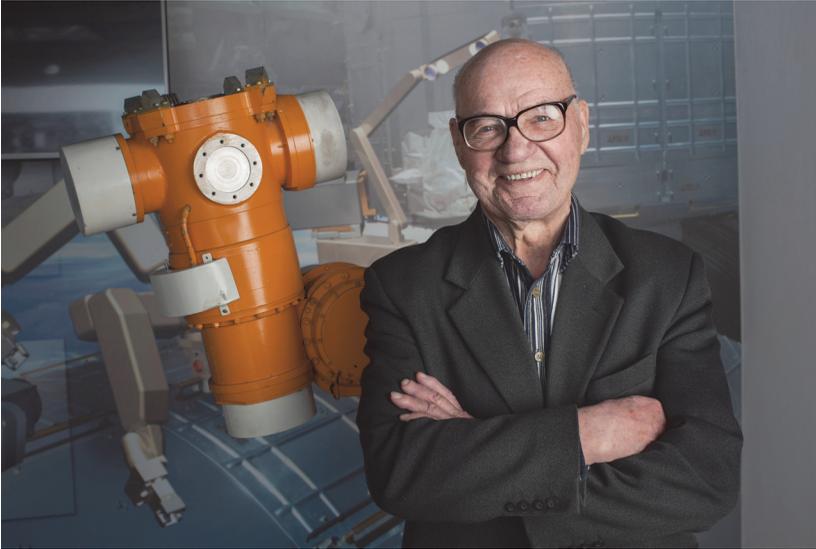
Collection of abstracts highlights an array of challenging issues and tasks in the sphere of robotic systems and safety facilities discussed at the 30th International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS».

Abstracts are published with author's edition.

Design by Irina Kuptzova, kuptzova@rtc.ru

ISBN 978-5-85875-570-8

©ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, 2019



Founder and First Director of the Russian Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Science and Technology Worker of the Russian Federation, Honorary Chief Designer of RTC, Honorary Co-Chairman of the Program Committee of EXTREME ROBOTICS Conference
Evgeny Yurevich

Основатель и первый директор ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, почетный главный конструктор ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, почетный сопредседатель программного комитета конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»
Юревич Евгений Иванович



Dear Colleagues!

I am glad to welcome participants of the 30th International scientific and technical conference «Extreme Robotics», organized by the Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics. In the last decades, achievements in the field of robotics largely determine the successes in the development of outer space, the depths of the World Ocean, in the implementation of advanced medical technologies. This year the scope of our conference is devoted to practical questions of application of robotic means of new generation for solving problems of space exploration, depths of the World Ocean, medicine, nuclear power, production. Further development of the above mentioned areas is directly related to the development and implementation of new

Уважаемые коллеги!

Я рад приветствовать участников 30-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», организатором которой является Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики». В последние десятилетия достижения в области робототехники во многом определяют успехи в освоении космического пространства, глубин Мирового океана, при реализации передовых медицинских технологий. В этом году тематика нашей конференции посвящена практическим вопросам

technologies, the expansion of mutually beneficial cooperation between domestic and foreign research centers and companies. I am sure that the level of the forthcoming conference will allow you to get acquainted with the latest achievements in the field of extreme robotics, to cover current issues in research and development and to identify the main market trends in robot industry. I wish all participants new discoveries, solutions, expansion of the circle of friends and partners!

*Director-Chief Designer RTC,
Doctor of Technical Sciences*

применения робототехнических средств нового поколения для решения задач по освоению космоса, глубин Мирового океана, медицины, атомной энергетики, производства. Дальнейшее освоение вышеперечисленных областей напрямую связано с разработкой и внедрением новых технологий, расширением взаимовыгодного сотрудничества отечественных и зарубежных исследовательских центров, и компаний. Уверен, что уровень предстоящей конференции позволит ознакомиться с последними достижениями в области экстремальной робототехники, осветить актуальные вопросы в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах и выявить основные тенденции рынка в роботостроении. Желаю всем участникам новых открытий, решений, расширения круга друзей и партнеров!

*Директор-главный конструктор
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, д.т.н.*



*Alexander Lopota
А.В. Лопота*

ORGANIZER

- *The Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), Saint-Petersburg, Russia*

WITH SUPPORT OF

- *Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation*
- *Military-Industrial Commission of the Russian Federation*
- *EMERCOM of Russia*
- *Ministry of Health of the Russian Federation*
- *Russian Academy of Sciences*
- *State Scientific Centers of the Russian Federation Association*
- *All-Russian branch association of employers «Russian Engineering Union»*
- *Government of St. Petersburg*
- *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*
- *Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation*

INFORMATION SUPPORT

- *Journal «Mechatronics, Automation, Control», Moscow, Russia*
- *Journal «Proceedings SPIIRAS», Saint-Petersburg, Russia*
- *Journal «Robotics and Technical Cybernetics», Saint-Petersburg, Russia*
- *Journal «New Defensive Order. Strategy», Saint-Petersburg, Russia*

ОРГАНИЗАТОР

- *Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург*

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

- *Министерства науки и высшего образования Российской Федерации*
- *Военно-промышленной комиссии Российской Федерации*
- *Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий*
- *Министерства здравоохранения Российской Федерации*
- *Российской академии наук*
- *Ассоциации государственных научных центров «Наука»*
- *Общероссийского отраслевого объединения работодателей «Союз машиностроителей России»*
- *Правительства Санкт-Петербурга*
- *Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ)*
- *ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России*

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

- *Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Мехатроника, автоматизация, управление», Москва*
- *Журнал «Труды СПИИРАН», Санкт-Петербург*
- *Научно-технический журнал «Робототехника и техническая кибернетика», Санкт-Петербург*
- *Журнал «Новый Оборонный Заказ. Стратегии», Санкт-Петербург*

CONFERENCE PROGRAM COMMITTEE

Chairman:

- **Gryaznov Nikolay**, *Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Deputy Director for Science of RTC, Saint-Petersburg*

Honorary Co-Chairman:

- **Yurevich Evgeny**, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Chief Designer of RTC, Saint-Petersburg*

Academic Secretary:

- **Spassky Boris**, *Candidate in Technical Sciences, Head of Department, RTC, Saint-Petersburg*

Members of Program Committee:

- **Albu-Schäffer Alin Olimpiu**, *Doctor, Professor, Director of DLR Institute of Robotics and Mechatronics, Germany*
- **Antsev Georgy**, *General Director - General Designer, Concern Morinformsystem-Agat JSC*
- **Bagnenko Sergey**, *Academician of the RAS, Rector of Pavlov First Saint Petersburg State Medical University*
- **Borovkov Alexey**, *Vice-rector for perspective projects, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*
- **Ji Sup Yoon, Doctor**, *Research Advisor, KAERI, Korea*
- **Kalyaev Igor**, *Academician of the RAS, Chairman of the Council on the priority of scientific and technological development of the Russian Federation*
- **Kaprin Andrey**, *Academician of the RAS, Director General of National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation*
- **Kononov Alexey**, *Head of Priority Technological Direction for Robotics Technologies of the National Center for the Development of Technologies and Basic Elements for Robotics of the Advanced Research Foundation*
- **Mikrin Eugeny**, *Chief Designer - First Deputy General Director, RSC Energia*
- **Peschehonov Vladimir**, *Academician of the RAS, General Director of Concern CSRI Elektropribor, JSC*
- **Ploeger Paul**, *Doctor, Professor Bonn-Rhein-Sieg University of Applied Science, Germany*

- **Saeed Sarkar**, Doctor, Professor, Director of Research Center for Science & Technology in Medicine, Iran
- **Schneider Frank Eugen**, Doctor, Head of department, Fraunhofer Institute for Communication, Information Processing and Ergonomics (FKIE), Germany
- **Shlyakhto Evgeny**, Academician of the RAS, Director General of the Almazov National Medical Research Centre
- **Tsarichenko Sergey**, Doctor of Technical Sciences, Head of the proof ground of Research Institute «Geodeziya»
- **Uemura Kensuke**, Doctor, CEO, ShinMaywa Industries, Japan
- **Verba Vladimir**, Corresponding member of the RAS, Radio Engineering Corporation «VEGA», JSC
- **Vizil'ter Yury**, Professor of the RAS, Head of Division, FGUP GosNIAS
- **Yushchenko Arkady**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Baumann State Technical University
- **Zhelтов Sergey**, Academician of the RAS, FGUP GosNIAS

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

- **Грязнов Николай Анатольевич**, к.ф.-м.н., заместитель директора по научной работе ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Почетный сопредседатель:

- **Юревич Евгений Иванович**, д.т.н., профессор, почетный главный конструктор ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Ученый секретарь:

- **Спасский Борис Андреевич**, к.т.н., начальник сектора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Члены программного комитета:

- **Альбу-Шаффер Алин**, доктор, профессор, директор Института робототехники и мехатроники Германского Центра Авиации и Космонавтики (DLR), Германия
- **Анцев Георгий Владимирович**, генеральный директор - генеральный конструктор, АО «Моринформсистема-Агат»
- **Багненко Сергей Федорович**, академик РАН, ректор ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова
- **Боровков Алексей Иванович**, проректор по перспективным проектам Санкт-Петербургского Политехнического Университета Петра Великого
- **Верба Владимир Степанович**, чл.-корр. РАН, генеральный конструктор АО «Концерн «Вега»»
- **Визильтер Юрий Валентинович**, профессор РАН, начальник подразделения ФГУП «ГосНИИАС»
- **Юн Джи Сун**, доктор, научный руководитель Корейского научно-исследовательского института атомной энергии KAERI, Корея
- **Желтов Сергей Юрьевич**, академик РАН, генеральный директор ФГУП «ГосНИИАС»
- **Каляев Игорь Анатольевич**, академик РАН, председатель совета по приоритету научно-технологического развития РФ
- **Каприн Андрей Дмитриевич**, академик РАН, генеральный директор ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России
- **Кононов Алексей Федорович**, руководитель приоритетного технологического направления по технологиям робототехники Национального центра развития технологий

и базовых элементов робототехники Фонда перспективных исследований (ФПИ)

- **Микрин Евгений Анатольевич**, генеральный конструктор - первый заместитель генерального директора, ПАО "РКК "Энергия"
- **Пешехонов Владимир Григорьевич**, академик РАН, генеральный директор Государственного научного центра РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
- **Плегер Пауль**, доктор, профессор Бонн-Рейн-Зиг университета прикладных наук, Германия
- **Сайед Саркар**, доктор, директор Исследовательского центра по науке и технологиям в медицине, Иран
- **Уемура Кензуке**, доктор, исполнительный директор ShinMaywa Industries Ltd., Япония
- **Цариченко Сергей Георгиевич**, д.т.н., начальник испытательного полигона ФКП «НИИ «Геодезия»
- **Шляхто Евгений Владимирович**, академик РАН, директор ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России
- **Шнайдер Франк Юджин**, доктор, руководитель департамента «Обработка информации и эргономика» Фраунгоферовский институт связи, Германия
- **Ющенко Аркадий Семенович**, д.т.н., профессор, заместитель заведующего кафедрой «Робототехнические системы и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана

CONFERENCE ORGANIZING COMMITTEE

Chairman:

- **Lopota Alexander**, *Doctor of Technical Sciences, Director and Chief Designer of RTC, Saint-Petersburg*

Deputy Chairman:

- **Korenko Natalia**, *Head of Center for Information and Analysis, RTC, Saint-Petersburg*

Secretary:

- **Nikolaev Alexey**, *Head of Department, RTC, Saint-Petersburg*

Members of Organizing Committee:

- **Antsev Ivan**, *Executive director, "NPP" Radar MMS, JSC*
- **Chemezov Sergey**, *CEO, Rostec Corporation*
- **Emelyanov Sergey**, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Southwest State University*
- **Kalabin Yuriy**, *Chairman of the Committee on Industrial Policy and Innovations of St. Petersburg*
- **Katalinic Branko**, *Doctor, President of the DAAAM International Association, Austria*
- **Katenev Vladimir**, *Chairman of the Board St. Petersburg Commerce and Industry Chambers*
- **Konyukhovskaya Alisa**, *CEO, Russian Association of Robotics*
- **Kudzh Stanislav**, *Doctor of Technical Sciences, Rector of Moscow Technological University*
- **Lobin Mikhail**, *General director of executive directorate, first vice-president of Union of Industrialists and Entrepreneurs of Saint Petersburg*
- **Maksimov Andrey**, *Chairman of Committee for Science and Higher School of Saint-Petersburg*
- **Martyanov Oleg**, *Head of the National Center for the Development of Technologies and Basic Elements for Robotics of the Advanced Research Foundation*
- **Medvedev Vadim**, *Head of Department, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation*
- **Pshikhopov Vyacheslav**, *Director, Research Institute of Robotics and Control Processes, SFU*
- **Rudskoy Andrey**, *Academician of the Russian Academy of Science, Rector of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

- ***Tsyganov Dmitry***, Deputy head of Department, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
- ***Turichin Gleb***, Rector, SPbGMTU
- ***Uiba Vladimir***, Head of the Federal Medical and Biological Agency of the Russian Federation
- ***Vorob'eva Zhanna***, Chairman of the Committee on Education of St. Petersburg

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

- **Допота Александр Витальевич**, д.т.н., директор-главный конструктор ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Заместитель председателя:

- **Коренко Наталья Львовна**, руководитель Информационно-аналитического центра ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Секретарь:

- **Николаев Алексей Александрович**, начальник сектора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Члены организационного комитета:

- **Анцев Иван Георгиевич**, исп. директор АО «НПП «Радар ММС»
- **Воробьева Жанна Владимировна**, председатель Комитета по образованию Санкт-Петербурга
- **Емельянов Сергей Геннадьевич**, д.т.н., профессор, ректор ЮЗГУ
- **Калабин Юрий Юрьевич**, председатель Комитета по промышленной политике и инновациями Санкт-Петербурга
- **Каталинич Бранко**, доктор, президент Международной ассоциации DAAAM, Австрия
- **Катенев Владимир Иванович**, председатель Совета Санкт-Петербургской торгово-промышленной палаты
- **Конюховская Алиса Егоровна**, исп. директор (НАУРР)
- **Кудж Станислав Алексеевич**, д.т.н., ректор ФГБОУ ВО «Московский технологический университет»
- **Лобин Михаил Александрович**, генеральный директор исполнительной дирекции, первый вице-президент ОО «Союз промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга»
- **Максимов Андрей Станиславович**, председатель Комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга
- **Мартьянов Олег Викторович**, руководитель Национального центра развития технологий и базовых элементов робототехники ФПИ
- **Медведев Вадим Викторович**, директор Департамента Минобрнауки России

- **Пилюхов Вячеслав Хасанович**, Директор НИИ робототехники и процессов управления, ЮФУ
- **Рудской Андрей Иванович**, академик РАН, ректор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
- **Туричин Глеб Андреевич**, ректор СПбГМУ
- **Уйба Владимир Викторович**, руководитель ФМБА России
- **Цыганов Дмитрий Игоревич**, заместитель директора Департамента Минобрнауки России
- **Чемезов Сергей Викторович**, генеральный директор корпорации «Ростех»

GROUND ROBOTICS / НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА	37
<i>A.A. Piscariov, B.B. Mikhailov</i> EXPLOSIVE OBJECTS LOCALIZATION ALGORITHM FOR NON-DETERMINISTIC WORKSPACE	37
<i>A.A. Пискарёв, Б.Б. Михайлов</i> АЛГОРИТМ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА НЕДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СЦЕНЕ	38
<i>I.N. Vubnikov, A.N. Yusupov</i> SAFETY OF ROBOTIC SYSTEMS IN EXTREME CONDITIONS	39
<i>И.Н. Бубников, А.Н. Юсупов</i> БЕЗОПАСНОСТЬ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ	40
<i>S.V. Andreenko</i> ISSUES OF ROBOTIZATION OF BASES OF STORAGE OF RESOURCES OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS OF THE RUSSIAN FEDERATION AND THEIR MATHEMATICAL MODELLING	43
<i>С.В. Андреев</i> ВОПРОСЫ РОБОТИЗАЦИИ БАЗ ХРАНЕНИЯ РЕСУРСОВ МВД РОССИИ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	44
<i>I.A. Kudryavtsev</i> INTELLIGENT ELECTROMECHANICAL EXECUTIVE MECHANISMS BASED ON A CYCLOIDAL DRIVE	45
<i>И.А. Кудрявцев</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ НА ОСНОВЕ ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНЫХ ПЕРЕДАЧ	46
<i>A.N. Kosenko, D.M. Korolev, O.A. Shmakov</i> METHODS OF USING MODULAR CIRCUIT UNITS FOR MOBILE ROBOTIC SYSTEMS DESIGN	47
<i>А.Н. Косенко, Д.М. Королев, О.А. Шмаков</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	48
<i>V.P. Andreev, P.F. Pletenev</i> A STUDY OF THE APPLICABILITY OF DIFFERENT NETWORKS AND TOPOLOGIES IN A MODULAR ROBOT WITH A PYRAMIDAL STRUCTURE OF CONTROL SYSTEM	50
<i>В.П. Андреев, П.Ф. Плетенев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СЕТЕЙ И ТОПОЛОГИЙ В МОДУЛЬНОМ РОБОТЕ С ПИРАМИДАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	51
<i>E.S. Briskin, Ya.V. Kalinin, A.V. Maloletov, K.Yu. Lepetukhin</i> THE CONCEPT OF A BENDABLE MULTI-SECTION RAINWAY MACHINE OF CIRCULAR ACTION	52

<i>Е.С. Брискин, Я.В. Калинин, А.В. Малолетов, К.Ю. Лепетухин</i> КОНЦЕПЦИЯ ИЗГИБАЕМОЙ МНОГОСЕКЦИОННОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ	54
<i>V.E. Pavlovsky, M.V. Andreeva, E.Yu. Kolisnechenko, I.A. Orlov, A.P. Aliseychik, A.V. Podoprosvetov</i> THE LOGISTICS SYSTEM CONSTRUCTED BY GROUP OF TRIANGULAR ROBOTS WITH OMNI-WHEELS	56
<i>В.Е. Павловский, М.В. Андреева, Е.Ю. Колесниченко, И.А. Орлов, А.П. Алисейчик, А.В. Подопросветов</i> ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ПОСТРОЕННАЯ ГРУППОЙ ТРЕУГОЛЬНЫХ РОБОТОВ С ОМНИ- КОЛЕСАМИ	57
<i>P.S. Baranov, A.S. Kurnikov, A.A. Mantsvetov, V.V. Pyatkov</i> MULTI- PULSE ACTIVE CCD TELEVISION SYSTEM MODEL FOR 3D IMAGING	59
<i>П.С. Баранов, А.С. Курников, А.А. Манцветов, В.В. Пятков</i> МАКЕТ МНОГОИМПУЛЬСНОЙ АКТИВНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ОБРАЗА ОБЪЕКТА	60
<i>B.S. Lapin, I.L. Ermolov, S.A. Sobolnikov</i> THE COMPUTATIONAL EFFICIENT APPROACH FOR SURFACE PARAMETERS DETECTION BY UGV WITH KNOWN POSITION	61
<i>Б.С. Лапин, И.Л. Ермолов, С.А. Соболевников</i> МЕТОД ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО ЭФФЕКТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ С ИЗВЕСТНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ	62
<i>M.A. Nogin, A.L. Korotkov, O.A. Shmakov</i> METHODOLOGY FOR THE QUALITY ASSESSING OF THE OBSTACLE OVERCOMING BY MOBILE ROBOTS	64
<i>М.А. Ногин, А.Л. Коротков, О.А. Шмаков</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРЕОДОЛЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ	66
<i>A.P. Fedin, Ya.V. Kalinin, E.A. Marchuk</i> ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER MODELLING IN MATLAB SIMULINK	68
<i>А.П. Федин, Я.В. Калинин, Е.А. Марчук</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В MATLAB SIMULINK	70
<i>N.G. Sharonov, G.Y. Prokudin</i> MODELING AND PROTOTYPING ORTHOGONAL ROTATORY WALKING MOVERS	72
<i>Н.Г. Шаронов, Г.Ю. Прокудин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ОРТОГОНАЛЬНО-ПОВОРОТНЫХ ШАГАЮЩИХ ДВИЖИТЕЛЕЙ	73

<i>V.P. Andreev, V.L. Kim</i> MODULAR ARCHITECTURE OF A MOBILE ROBOT TRANSPORT PLATFORM FOR A MOTION TASK ON A ROUGH TERRAIN	75
<i>В.П. Андреев, В.Л. Ким</i> МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЫ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДВИЖЕНИЯ ПО СЛОЖНОМУ РЕЛЬЕФУ	76
<i>A.A. Vlasenko, A.L. Korotkov, O.A. Shmakov</i> MODULAR MANIPULATION DEVICE WITH REMOVABLE OPERATIONAL EQUIPMENT	78
<i>А.А. Власенко, А.Л. Коротков, О.А. Шмаков</i> МОДУЛЬНОЕ МАНИПУЛЯЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО СО СМЕННЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ	79
<i>M.V. Miroshkina, E.C. Briskin, V.A. Serov, S.A. Ustinov</i> ABOUT ENERGETICALLY EFFICIENT MODES OF THE WALKING ROBOTS MOVEMENT AT ITS DISPLACEMENT ALONG A SURFACE WITH OBSTACLES	81
<i>М.В. Мирошкина, Е.С. Брискин, В.А. Серов, С.А. Устинов</i> ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ПО ПОВЕРХНОСТИ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ	82
<i>A.M. Korsakov, D.A. Gromoshinsky, E.Yu. Smirnova, D.N. Stepanov</i> BUILDING A SPATIAL MODEL OF AN OBJECT USING A POINT CLOUD IN MANIPULATOR CONTROL PROBLEMS	84
<i>А.М. Корсаков, Д.А. Громошинский, Е.Ю. Смирнова, Д.Н. Степанов</i> ПОСТРОЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА ПО ОБЛАКУ ТОЧЕК В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ	86
<i>L.Yu. Vorochaeva, A.S. Yatsun, S.I. Savin, A.V. Repkin</i> GAITS OF A SEARCH TWO-LINK CRAWLING ROBOT	88
<i>Л.Ю. Ворочаева, А.С. Яцун, С.И. Савин, А.В. Репкин</i> ПОХОДКИ ПОИСКОВОГО ДВУХЗВЕННОГО ПОЛЗАЮЩЕГО РОБОТА	90
<i>V.V. Epaneshnikova, P.V. Koroletskiy, V.E. Pryanechnikov, E.A. Prysev, O.V. Punenkov</i> DESIGNING A WRONG-FREE COATING WIRELESS NETWORK ENSURING THE SERVICE ROBOT MANAGEMENT	92
<i>В.В. Епанешникова, П.В. Королецкий, В.Е. Пряничников, Е.А. Прысев, О.В. Пуненков</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПОКРЫТИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ УПРАВЛЕНИЕ СЕРВИСНЫМ РОБОТОМ	93
<i>A.S. Kreuzova, A.N. Yusupov</i> THE DEVELOPMENT OF A DISCRETE MODEL OF MECHATRONIC MODULE	94
<i>А.С. Креусова, А.Н. Юсупов</i> РАЗРАБОТКА ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ	96

<i>Yu. Yu. Andreeva, B.A. Zhukov, Ya. V. Kalinin</i> DEVELOPMENT OF RUBBER AND METAL DAMPER OF ROBOTIC DEVICES	98
<i>Ю.Ю. Андреева, Б.А. Жуков, Я.В. Калинин</i> РАЗРАБОТКА РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО АМОРТИЗАТОРА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ	100
<i>H. Senov, Yu. Bolgov</i> THE DEVELOPMENT OF ROBOTIC SYSTEM FOR REMOTE MONITORING OF AVALANCHE AND MUDFLOW HOTBEDS MOUNTAIN AREAS OF KBR	102
<i>Х.М. Сенов, Ю.В. Болгов</i> РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЛАВИНООПАСНЫХ И СЕЛЕОПАСНЫХ ОЧАГОВ ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ КБР	103
<i>V.A. Rachis, E.I. Beishenbaev, G.M. Medetova, V.A. Gallinger</i> DEVELOPMENT OF ROBOTIC TECHNOLOGY SYSTEM FOR INTELLECTUAL REPAIR OF ROAD LOAD	105
<i>В.А. Рачис, Э.И. Бейшенбаев, Г.М. Медетова, В.А. Галлингер</i> РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО РЕМОНТА ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА	106
<i>H. Senov, Yu. Bolgov</i> DEVELOPMENT OF A DIGITAL MAP OF MUDFLOW AND AVALANCHE AREAS OF KBR	108
<i>Х.М. Сенов, Ю.В. Болгов</i> РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ТРЕХМЕРНОЙ КАРТЫ СЕЛЕОПАСНЫХ И ЛАВИНООПАСНЫХ УЧАСТКОВ ТЕРРИТОРИИ КБР	109
<i>V.G. Gradetsky, I.L. Ermolov, M.M. Knyazkov, E.A. Semenov, B.S. Lapin, S.A. Sobolnikov, A.N. Sukhanov</i> CALCULATION APPROACH FOR CONTROL OF MOBILE ROBOTS MOVING IN ORGANIZED GROUP OVER COMPLEX SURFACE UNDER JOINT TRANSPORTATION TASK	110
<i>В.Г. Градецкий, И.Л. Ермолов, М.М. Князьков, Е.А. Семёнов, Б.С. Латин, С.А. Собольников, А.Н. Суханов</i> РАСЧЕТ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ РОБОТОВ ГРУППЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ НА НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	111
<i>A.V. Mal'chikov, L.Yu. Vorochaeva, A.V. Repkin</i> IMPLEMENTATION OF THE SET OF MEASURING TOOLS OF A WHEELED JUMPING ROBOT FOR THE TASKS OF AUTONOMOUS OVERCOMING OF OBSTACLES	113
<i>А.В. Мальчиков, Л.Ю. Ворочаева, А.В. Репкин</i> РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПРЫГАЮЩЕГО КОЛЕСНОГО РОБОТА ДЛЯ ЗАДАЧ АВТОНОМНОГО ПРЕОДОЛЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ	115

<i>A.R. Gladyshev, A.U. Aleynikov</i> REALIZATION OF THE RHYTHMIC MOTOR FUNCTIONS OF A SNAKE-LIKE ROBOT OF OUR OWN DESIGN USING CPG	117
<i>A.P. Гладышев, А.Ю. Алейников</i> РЕАЛИЗАЦИЯ РИТМИЧНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ЗМЕЕПОДОБНОГО РОБОТА СОБСТВЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CPG	119
<i>N.V. Vykov, N.S. Vlasova, M.Yu. Gubanov</i> A WALL-CLIMBING ROBOT WITH A MAGNETIC-TAPE ADHESION MECHANISM	121
<i>Н.В. Быков, Н.С. Власова, М.Ю. Губанов</i> РОБОТ С МАГНИТНО-ЛЕНТОЧНЫМ ПРИНЦИПОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ	122
<i>R.V. Sablin, M.D. Zhumabek, D.T. Kulikov</i> ROBOTIC PLATFORM WITH A MECHANICAL MANIPULATOR WITH CONTROL ON SMARTPHONE	124
<i>Р.В. Саблин, М.Д. Жумабек, Д.Т. Куликов</i> РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА С МЕХАНИЧЕСКИМ МАНИПУЛЯТОРОМ С УПРАВЛЕНИЕМ НА СМАРТФОНЕ	126
<i>V.G. Chashchukhin</i> ORIENTATION SYSTEM OF THE AERODYNAMICALLY ADHESIVE WALL CLIMBING ROBOT	129
<i>В.Г. Чащухин</i> СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ РОБОТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ПРИЖАТИЕМ К ПОВЕРХНОСТИ	131
<i>D.Y. Andrianov, N.V. Shkurov, P.S. Golubev</i> SNOWMOBILE DRONE "WHITE CAT"	133
<i>Д.Ю. Андрианов, Н.В. Шкуров, П.С. Голубев</i> СНЕГОХОДНЫЙ БЕСПИЛОТНИК "БЕЛЫЙ КОТ"	133
<i>V.K. Abrosimov, V.V. Eliseev</i> CURRENT STATE AND DEVELOPMENT POTENTIAL FOR THE NATIONAL AGRICULTURAL ROBOTICS	134
<i>В.К. Абросимов, В.В. Елисеев</i> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	135
<i>D.S. Popov, O.A. Shmakov</i> REQUIREMENTS FOR REMOTE CONTROL SYSTEMS FOR GROUND-BASED MOBILE ROBOTS	137
<i>Д.С. Попов, О.А. Шмаков</i> СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМАМ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ	138
<i>O.B. Shagniev, S.F. Burdakov</i> THE ROBOT VIBRATION CONTROL UNDER EXTREME LOADS DURING MACHINING	140
<i>О.Б. Шагниев, С.Ф. Бурдаков</i> УПРАВЛЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ РОБОТА В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК ПРИ МЕХАНООБРАБОТКЕ	141

<i>I.A. Kudryavtsev, P.S. Golubev</i> ELECTRIC DRIVE MODULE WITH FUNCTIONS STEERING AND SUSPENSION FOR ROBOTIC TRANSPORT PLATFORMS	144
<i>И.А. Кудрявцев, П.С. Голубев</i> ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ МОДУЛЬ С ФУНКЦИЯМИ ДВИЖИТЕЛЯ РУЛЯ И ПОДВЕСКИ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЛАТФОРМ	145
<i>D.V. Baev</i> ANALYSIS OF THE STATE AND USE OF ROBOTIC SYSTEMS FOR RESCUE OPERATIONS IN THE RUSSIAN EMERGENCIES MINISTRY	148
<i>Д.В. Баев</i> АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В МЧС РОССИИ	149
<i>A.M. Nunuparov</i> DYNAMICS AND CONTROL OF VIBRATION-DRIVEN CAPSULE-TYPE ROBOT WITH AN OPPOSING SPRING	150
<i>А.М. Нунопаров</i> ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ КАПСУЛЬНОГО РОБОТА ВИБРАЦИОННОГО ТИПА С ВОЗВРАТНОЙ ПРУЖИНОЙ	152
<i>V.I. Petrenko, F.B. Tebueva, V.O. Antonov, V.B. Sychkov, M.M. Gurchinsky</i> MOTION PLANNING OF ANTHROPOMORPHIC MANIPULATOR WITH COPY CONTROL	154
<i>В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, В.Б. Сычков, М.М. Гурчинский</i> ПЛАНИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АНТРОПОМОРФНОГО МАНИПУЛЯТОРА ПРИ КОПИРУЮЩЕМ УПРАВЛЕНИИ	156
<i>E.A. Abrosimov, V.A. D'yachenko, A.V. Bakhshiev, E.K. Ignatiadi, A.A. Shavlikov</i> TECHNOLOGIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE PROBLEM OF ANALYSIS OF ROAD SITUATION BY AUTONOMOUS VEHICLE	158
<i>Э.А. Абросимов, В.А. Дьяченко, А.В. Бахшиев, Е.К. Игнатиади, А.А. Шавликов</i> ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ АВТОНОМНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ	159
<i>S. Efremenkov</i> WIRELESS COMMUNICATION LINKS AND VIDEO CAMERAS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) AND UNMANNED GROUND VEHICLE (UGV)	161
<i>С.В. Ефременков</i> БЕСПРОВОДНЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ И ВИДЕОКАМЕРЫ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (РТК)	163
<i>G.A. Prakarovich, V.A. Sychyov</i> THE HEXAPOD-BASED SPHERICAL MOVER FOR A MOBILE ROBOT	165
<i>Г.А. Прокопович, В.А. Сычёв</i> СФЕРИЧЕСКИЙ ДВИЖИТЕЛЬ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ ГЕКСАПОДА	167

<i>L.A. Khadasevich</i> SPATIAL MOTION PLANNING OF AUTONOMOUS MOBILE ROBOT BASED ON INDOOR CHARACTERISTIC ELEMENTS	169
<i>Л.А. Ходасевич</i> ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРИЕНТАЦИЯ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПО ХАРАКТЕРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ ПОМЕЩЕНИЙ	171
<i>S.R. Orlova, T.T. Isakov</i> USING OF DEEP NEURAL NETWORKS FOR SEGMENTATION OF DRIVING ENVIRONMENT IMAGES	173
<i>С.Р. Орлова, Т.Т. Исаков</i> ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ	174
MARINE ROBOTICS / МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА	175
<i>A.F. Scherbatyuk</i> CURRENT EXPERIENCE FOR USAGE OF SOME AUV DEVELOPED IN IMTP FEB RAS	175
<i>А.Ф. Щербатюк</i> О ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ АНПА, РАЗРАБОТАННЫХ В ИПМТ ДВО РАН	176
<i>B. Katalinich, S.V. Kuvshinov, V.E. Pryanichnikov, A.A. Roganov, A.S. Trushkin, K.V. Kharin, V.V. Chernyshov</i> THE DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM FOR SERVICE AND UNDERWATER ROBOTS, USING NETWORK TECHNOLOGIES	178
<i>Б. Каталинич, С.В. Кувшинов, В.Е. Пряничников, А.А. Роганов, А.С. Травушкин, К.В. Харин, В.В. Чернышов</i> РАЗРАБОТКА УПРАВЛЕНИЯ СЕРВИСНЫМИ И ПОДВОДНЫМИ РОБОТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	179
<i>L.D. Smirnova, E.S. Briskin</i> THE INTERACTION OF THE FOOT WALKING PROPULSION OF MOBILE UNDERWATER ROBOT WITH THE BOTTOM SOIL	181
<i>Л.Д. Смирная, Е.С. Брискин</i> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СТОПЫ ШАГАЮЩЕГО ДВИЖИТЕЛЯ МОБИЛЬНОГО ПОДВОДНОГО РОБОТА С ГРУНТОМ	182
<i>E.S. Briskin, V.A. Serov, S.A. Ystinov, V.N. Platonov</i> ON ANCHOR-ROPE PROPULSION MOTION'S RATIONAL MODES DURING THE MOVEMENT INTO A NEW POSITION	183
<i>Е.С. Брисикин, В.А. Серов, С.А. Устинов, В.Н. Платонов</i> О РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ЯКОРНО-ТРОСОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕНОСЕ В НОВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ	184
<i>A.V. Klekovkin, Yu.L. Karavaev, A.A. Kilin, I.S. Mamaev</i> CONTROL SCREWLESS FISH-LIKE ROBOT WITH INTERNAL ROTOR	186
<i>А.В. Клековкин, Ю.Л. Караваев, А.А. Килин, И.С. Мамаев</i> УПРАВЛЕНИЕ БЕЗВИНТОВЫМ РЫБОПОДОБНЫМ РОБОТОМ С ВНУТРЕННИМ РОТОРОМ	187

<i>V.B. Schneider, I.P. Janayt, I.A. Shavyrin</i> DESIGNING A HYDROACOUSTIC RANGE SENSOR OF THE UNDERWATER ROBOT NAVIGATION COMPLEX	190
<i>В.Б. Шнайдер, И.П. Янайт, И.А. Шавырин</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ДАЛЬНОМЕРНОГО ДАТЧИКА НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ПОДВОДНОГО РОБОТА	192
<i>V.S. Taradonov, A.P. Blinkov, I.V. Kozhemyakin, V.A. Ryzhov, D.N. Shamanov, D.A. Dmitriev</i> THE CONCEPTUAL SHAPE OF THE ROBOTIC UNDERWATER – SURFACE VEHICLE OF THE INCREASED AUTONOMY WITH CHANGEABLE GEOMETRY OF THE HULL FOR THE SYSTEM OF ROBOTIZED UNDERWATER SEISMIC EXPLORATION IN SUBGLACIAL WATER AREAS	194
<i>В.С. Тарадонов, А.П. Блинков, И.В. Кожемякин, В.А. Рыжов, Д.Н. Шаманов, Д.А. Дмитриев</i> КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ОБЛИК РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ПОДВОДНО-НАДВОДНОГО АППАРАТА ПОВЫШЕННОЙ АВТОНОМНОСТИ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ КОРПУСА ДЛЯ СИСТЕМЫ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПОДВОДНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ПОДЛЁДНЫХ АКВАТОРИЯХ	196
<i>A.S. Shustov, A.E. Kutsko, S.V. Belov</i> COMPACT POSITIONING, DATE TRANSMISSION AND VOICE COMMUNICATION SYSTEM FOR UNDERWATER APPLICATIONS	198
<i>A.C. Шустов, А.Е. Куцко, С.В. Белов</i> МАЛОГАБАРИТНАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ГОЛОСОВОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВОДНЫХ РАБОТ	198
<i>A.A. Sinishin, I.A. Putintsev, A.A. Krechin, I.V. Shestakov</i> DEVELOPMENT OF STUDENT ENGINEERING BUREAU OF SMTU IN THE AREA OF MARINE ROBOTICS	199
<i>А.А. Синишин, И.А. Путинцев, А.А. Кречин, И.В. Шестаков</i> РАЗРАБОТКИ СТУДЕНЧЕСКОГО КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО СПБГМТУ В СФЕРЕ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	201
<i>S.Yu. Pribylov, V.V. Sergeev, V.N. Karpov, V.A. Sokolov</i> FEATURES OF CONSTRUCTION OF ACTIVE VISION SYSTEMS FOR AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES	203
<i>Ю.С. Прибылов, В.В. Сергеев, В.Н. Карпов, В.А. Соколов</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АКТИВНЫХ СИСТЕМ ВИДЕНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ	204
<i>A.V. Prokonich, S.I. Kosyanchuk</i> TELEVISION TECHNOLOGY FOR REFLECTIVE RESEARCH	205
<i>А.В. Проконич, С.И. Косянчук</i> ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	206
<i>I.A. Kudryvtsev, N.V. Kiselev</i> UNPAILED AMPHIBIC PLATFORM	207

<i>И.А. Кудрявцев, Н.В. Киселев</i> БЕСПИЛОТНАЯ АМФИБИЙНАЯ ПЛАТФОРМА	209
<i>I.V. Pashkevich, A.V. Grinenkov, G.V. Konyukhov, L.A. Martynova, A.O. Pronin, G.A. Podshivalov, V.V. Prokopovich, N.I. Gorbachev</i> FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF AUV EMERGENCY SUBSYSTEM DURING THE USE OF MULTI-AGENT TECHNOLOGY IN ITS CONTROL SYSTEM	211
<i>И.В. Паишкевич, А.В. Гриненков, Г.В. Конюхов, Л.А. Мартынова, А.О. Пронин, Г.А. Подшивалов, В.В. Прокопович, Н.И. Горбачев</i> ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АВАРИЙНОЙ ПОДСИСТЕМЫ АНПА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ЕГО СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ	213
<i>A.M. Maevskiy, B.A. Gaykovich</i> DEVELOPMENT OF HYBRID AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE FOR THE RESEARCH OF HYDROCARBON DEPOSITS	215
<i>A.M. Маевский, Б.А. Гайкович</i> РАЗРАБОТКА ГИБРИДНЫХ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ	217
<i>D.A. Frolov, D.A. Gromoshinskiy, A.M. Korsakov, E.Yu. Smirnova, A.V. Popov</i> DETECTION OF UNDERWATER METAL-CONTAINING OBJECTS WITH FUSION OF FLUXGATE SENSORS WITH NAVIGATIONAL DATA	219
<i>Д.А. Фролов, Д.А. Громошинский, А.М. Корсаков, Е.Ю. Смирнова, А.В. Попов</i> ОБНАРУЖЕНИЕ ПОДВОДНЫХ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОКАЗАНИЙ ПАССИВНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ И ДАННЫХ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	221
<i>I.A. Vasilyev, A.M. Lyashin</i> CONCEPT OF IMPROVING RELIABILITY IN ROBOTICS BY MEANS OF APPLICATION OF EVIDENCE PROGRAMMING	223
<i>И.А. Васильев, А.М. Ляшин</i> КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ В РОБОТОТЕХНИКЕ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ДОКАЗАТЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	224
<i>A.S. Golubev, O.V. Litvinov, A.V. Bakhshiev, I.V. Vasilyev</i> RESEARCH OF APPLICATIONS OF THE REINFORCMENT LEARNING IN HYPER-REDUNDANT AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE CONTROL PROBLEMS	227
<i>А.С. Голубев, О.В. Литвинов, А.В. Бахшиев, И.А. Васильев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ	

ГИПЕРИЗБЫТОЧНЫМ НЕОБИТАЕМЫМ ПОДВОДНЫМ АППАРАТОМ	228
<i>S.A. Polovko, V.V. Tselujko, A.V. Popov, D.N. Stepanov</i> A COMPUTER VISION SYSTEM FOR DETERMINATION OF AUV POSITION IN THE PROBLEM OF COOPERATIVE DOCKING	230
<i>С.А. Половко, В.В. Целуйко, А.В. Попов, Д.Н. Степанов</i> СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ В ЗАДАЧЕ КООПЕРИРУЕМОЙ СТЫКОВКИ	232
<i>I.A. Vasiliev, A.A. Nikiforov</i> MODELING OF THE UNDERWATER APPARATUS WITH A VARIABLE THRUST VECTOR, EQUIPPED WITH BALLAST TANKS	235
<i>И.А. Васильев, А.А. Никуфоров</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВОДНОГО АППАРАТА С ПЕРЕМЕННЫМ ВЕКТОРОМ УПОРА, СНАБЖЁННОГО БАЛЛАСТНЫМИ ЦИСТЕРНАМИ	237
<i>O.A. Shmakov</i> HYPER-REDUNDANT UNDERWATER ROBOT	239
<i>О.А. Шмаков</i> ГИПЕРИЗБЫТОЧНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ ДЛЯ РАБОТЫ В ЖИДКИХ СРЕДАХ	240
<i>R.V. Krasilnikov</i> ROBOTIC COMPLEX TO RESCUE PEOPLE WHO FELL OVERBOARD	242
<i>Р.В. Красильников</i> РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ, УПАВШИХ ЗА БОРТ	243
AIRBORNE ROBOTICS / ВОЗДУШНАЯ РОБОТОТЕХНИКА	245
<i>V.P. Noskov, I.O. Kiselev</i> A USING THE TEXTURE OF LINEAR OBJECTS, WHICH ARE FORMED WITH HELP DATA FROM THE COMPLEXLY STV, FOR THE SOLUTION OF THE SLAM-TASK	245
<i>В.П. Носков, И.О. Киселев</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕКСТУРЫ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ, ФОРМИРУЕМЫХ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ СТЗ, В РЕШЕНИИ SLAM-ЗАДАЧИ	247
<i>E. Lyapustin</i> IDENTIFICATION OF UNCLEARED AIRCRAFT ON SOUND PRINTING FOR DETECTION, RECOGNITION AND DETERMINATION OF THE POSITION FOR PREVENTION OF COLLISIONS IN AIRSPACE	250
<i>Е.С. Ляпустин</i> ИДЕНТИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ЗВУКОВОМУ ОТПЕЧАТКУ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЗНАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛЖЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ	253
<i>A.D. Budnitskiy, O.V. Martianov, V.B. Sychkov</i> FEASIBILITY OF UAV UTILIZATION PILOT REGION CREATION ESTIMATION ON THE TOMSK REGION CASE	256
<i>О.В. Мартьянов, А.Д. Будницкий, В.Б. Сычков</i> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ОПЫТНОГО РАЙОНА	

ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ (БАС) ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЕРВИСНО-ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ	258
<i>V.S. Verba, V.I. Merkulov</i> OPTIMIZATION PROBLEM FOR A GROUP OF UAVS OF JOINT CONTROL, ENSURING THEIR DESIRED SPATIAL TOPOLOGY	260
<i>B.C. Верба, В.И. Меркулов</i> ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ БЛА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ИХ ТРЕБУЕМУЮ ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ТОПОЛОГИЮ	261
<i>V.I. Merkulov, D.A. Milyakov, A.S. Plyashechnik</i> SYNTHESIS OF PHASED ANTENNA ARRAYS FOR LONG-RANGE MOBILE RADARS BASED ON QUADCOPTERS	262
<i>В.И. Меркулов, Д.А. Мильяков, А.С. Пляшечник</i> СИНТЕЗ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РЛС БОЛЬШОЙ ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ НА БАЗЕ КВАДРОКОПТЕРОВ	263
<i>S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky, N.D. Beklemishev</i> IMPLEMENTATION OF INTERPRETIVE NAVIGATION BY THE COMPUTER VISION SYSTEM MODULES	264
<i>С.М. Соколов, А.А. Богуславский, Н.Д. Беклемисhev</i> РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРПРЕТИРУЮЩЕЙ НАВИГАЦИИ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЕЙ СТЗ	266
<i>A.E. Ananenko, D.V. Marin, V.M. Nuzhdin, V.B. Schneider</i> INTERFEROMETRIC RSA FOR THE ICE SITUATION MONITORING	268
<i>А.Е. Ананенков, Д.В. Марин, В.М. Нуждин, В.Б. Шнайдер</i> ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ RSA МОНИТОРИНГА ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ	270
<i>A.B. Belskiy</i> TASKS OF CREATION OF ROBOTIC HELICOPTER COMPLEXES	272
<i>А.Б. Бельский</i> ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ВЕРТОЛЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ	275
<u><i>S.L. Zenkevich</i></u> , <i>A.V. Nazarova, Jianwen Huo</i> MOTION CONTROL METHOD OF GROUP ROBOT BASED ON VISUAL INFORMATION FROM DRONE	278
<u><i>С.Л. Зенкевич</i></u> , <i>А.В. Назарова, Цзяньвень Хо</i> МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ РОБОТОВ НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ ДРОНА	279
<i>D.V. Senchuk, R.V. Meshcheryakov</i> DESIGNING CONTROL SYSTEM FOR REMOTELY PILOTED AIR SYSTEMS (RPAS)	281

<i>Р.В. Мецзяков, Д.В. Сенчук</i> К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	283
<i>M.L. Kim</i> AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF MINE-RESCUE PARTS BASIS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES	285
<i>М.Л. Ким</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	287
<i>I.V. Arzhevikin, S.R. Gazitov</i> THE RADIO ALTIMETER WITH SWEEP FREQUENCY MODULATION FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES	289
<i>И.В. Аржевикин, С.Р. Газитов</i> РАДИОВЫСОТОМЕР С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	290
<i>S.S. Tataurshchikov</i> PERSPECTIVE DEVELOPMENTS OF PHOTODETECTORS BY JSC "NRI "ELECTRON"	291
<i>С.С. Татауршичков</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ ФОТОПРИЕМНИКОВ АО «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОН»	291
<i>V.V. Voronov</i> THE TECHNICAL AND LEGAL ASPECTS OF AERIAL ROBOTICS SYSTEMS DESIGN AND APPLICATIONS	292
<i>В.В. Воронов</i> НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ВОЗДУШНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	292
<i>A.S. Lakhmenev</i> FUTURE PROFESSION: UNMANNED AVIATION INTERFACE DESIGNER	294
<i>А.С. Лахменев</i> ПРОФЕССИЯ БУДУЩЕГО: ПРОЕКТИРОВЩИК ИНТЕРФЕЙСОВ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ	295
<i>I.S. Fomin, A.V. Bakhshiev</i> USING OF DEEP NETWORKS FOR CLASSIFICATION OF LOW-RESOLUTION OBJECTS IN INTELLIGENT VIDEO ANALYSIS SYSTEMS	296
<i>И.С. Фомин, А.В. Бахшиев</i> ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НИЗКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В СИСТЕМАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВИДЕО	297
<i>N.S. Filatov, I.S. Fomin, A.V. Bakhshiev</i> RESEARCH ON APPLICABILITY OF SMALL NEURAL NETWORKS USING POWER-LIMITED HARDWARE IN VIDEO SURVEILLANCE	299
<i>Н.С. Филатов, И.С. Фомин, А.В. Бахшиев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ СВЕРХМАЛЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА МАЛОМОЩНЫХ ПЛАТФОРМАХ В ЗАДАЧЕ ВИДЕОАНАЛИТИКИ	300
<i>O.O. Shumskaya, A.O. Iskhakova, A.Y. Iskhakov</i> MASKING OF OPERATING SIGNALS OF AGENTS IN MOBILE ROBOTIC GROUPS WITH NETWORK-CENTRIC MANAGEMENT	303

<i>О.О. Шумская, А.О. Исхакова, А.Ю. Исхаков</i> МАСКИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ АГЕНТОВ В МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ГРУППАХ С СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ	304
SPACE ROBOTICS / КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА	307
<i>A.V. Yaskevich, I.E. Chernyshev, Y.V. Rasskazov</i> DOCKING MECHANISM FOR INTERNATIONAL SPACE PROGRAMS	307
<i>A.B. Яскевич, И.Е. Чернышев, Я.В. Рассказов</i> СТЫКОВОЧНЫЙ МЕХАНИЗМ ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ	308
<i>M.V. Mikhailyuk, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov</i> VIRTUAL REALITY TOOLS FOR COMPUTER MODELING OF A COSMONAUT'S INTERACTION WITH A GROUP OF AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS ON THE LUNAR SURFACE	309
<i>M.B. Михайлюк, Б.И. Крючков, В.М. Усов</i> ИНСТРУМЕНТЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОСМОНАВТА С ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ	311
<i>V.N. Dmitriev, B.V. Burdin, V.A. Dovzhenko, Yu.S. Chebotarev</i> APPLICATION OF SPACE ROBOTIC SYSTEMS TO SUPPORT COSMONAUTS' ACTIVITY FOR THE IMPLEMENTATION OF EXISTING AND FUTURE SPACE PROGRAMS	313
<i>В.Н. Дмитриев, Б.В. Бурдин, В.А. Довженко, Ю.С. Чеботарев</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ	314
<i>J.S. Bodrova, G.F. Karabadzhak, K.G. Raykunov</i> SPACE ROBOTICS MOBILE VEHICLE PLATFORMS, THEIR PRIORITY TASKS AND POTENTIAL USAGE SCENARIOS TO SUPPORT RUSSIAN MANNED MOON EXPLORATION PROGRAM	317
<i>Ю.С. Бодрова, Г.Ф. Карабаджак, К.Г. Райкунов</i> МОБИЛЬНЫЕ ПЛАТФОРМЫ КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ, ИХ ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗАДАЧИ И ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ РОССИЙСКОЙ ПРОГРАММЫ ПИЛОТИРУЕМОГО ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ	318
<i>O.V. Rudakova</i> TESTING OUT ROBOTICS CONTROL TECHNOLOGIES FOR MOON EXPLORATION	320
<i>О.В. Рудакова</i> ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ	321

A.I. Bykov, A.V. Artemev, A.N. Sova RESULTS OF ANALYSIS OF EXPERIMENTAL GROUND TESTING METHODS OF PLANETARY ROVERS	323
<i>А.И. Быков, А.В. Артемьев, А.Н. Сова</i> РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА МЕТОДИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ПЛАНЕТОХОДОВ	325
<i>M.I. Malenkov, V.A. Volov</i> SYSTEM OF FASTENING AND DEPLOYMENT OF ONBOARD MANIPULATOR ORBITAL SHIP "BURAN". PROBLEMS AND HISTORY OF CREATION	328
<i>М.И. Маленков, В.А. Воллов</i> СИСТЕМА КРЕПЛЕНИЯ И РАЗВЕРТЫВАНИЯ БОРТОВОГО МАНИПУЛЯТОРА ОРБИТАЛЬНОГО КОРАБЛЯ «БУРАН». ПРОБЛЕМЫ И ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ	330
<i>I.V. Fominov, A.A. Sasunkevich, P.V. Kalabin</i> THE STUDY OF IMPLEMENTATION OF PASSIVE PERIODIC FLYBY OPPORTUNITIES BY SPACE ROBOT OF A NON-COOPERATIVE SPACECRAFT	332
<i>И.В. Фоминов, А.А. Сасункевич, П.В. Калабин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПАССИВНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОБЛЕТА СЕРВИСНЫМ КОСМИЧЕСКИМ РОБОТОМ НЕКООПЕРИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА	334
<i>S.A. Matveev, E.B. Korotkov, N.S. Slobodzyan</i> FEATURES OF SPACE APPLICATION OF HEXAPOD DRIVES CONTROL	336
<i>С.А. Матвеев, Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян</i> ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ ГЕКСАПОДА КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ	337
<i>S.A. Matveev, I.N. Magomedov, A.C. Tolmachev, A.D. Shirshov, N.G. Yakovenko</i> ROBOTIC SYSTEM FOR DRIVE THE FORM OF RECONFIGURATION RADIO AERIAL IN SPACE	339
<i>С.А. Матвеев, И.Н. Магомедов, А.С. Толмачев, А.Д. Ширшов, Н.Г. Яковенко</i> РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФОРМОЙ РАЗВОРАЧИВАЕМОЙ РАДИОАНТЕННЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА	341
<i>A.G. Pochezhertsev, V.M. Kopylov</i> UNIVERSAL DOCKING ASSEMBLY DESIGN FOR AUTOMATIC ASSEMBLY OF LARGE UNTIGHT STRUCTURES IN NEAR-EARTH SPACE	343
<i>А.Г. Почезерцев, В.М. Копылов</i> КОНСТРУКЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТЫКОВОЧНОГО УЗЛА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ	345

<i>V.V. Titov, I.R. Nanyageev</i> THE INERTIA, MASS AND CENTER OF MASS MEASUREMENT SYSTEM BASED ON INDUSTRIAL 6DOF MANIPULATOR WITH FORCE-TORQUE SENSOR: THE DEVELOPMENT AND THE APPLICATION	347
<i>В.В. Титов, И.Р. Нанягеев</i> СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССО-ИНЕРЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕЗНОГО ГРУЗА ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА ОСНАЩЕННОГО ДАТЧИКОМ СИЛ И МОМЕНТОВ: ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ	348
<i>A.V. Vasilev, A.V. Sergeev</i> DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR A GROUND TESTBED FOR MODELING AND RESEARCH OF REMOTE CONTROL TECHNOLOGIES FOR A SMALL EXPLORATION LUNAR ROVER	350
<i>А.В. Васильев, А.В. Сергеев</i> РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К НАЗЕМНОМУ СТЕНДУ (ПОЛИГОНУ) ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ЛУНОХОДОМ	351
<i>M. Guk, I. Dalyaev, E. Kuznetcova, A. Sergeev, A. Truts</i> 7-DOF HAPTIC DEVICE FOR BILATERAL CONTROL OF ON-GROUND ROBOT	353
<i>М.Ю. Гук, И.Ю. Даляев, Е.М. Кузнецова, А.В. Сергеев, А.А. Трутс</i> СЕМИСТЕПЕННОЕ ЗАДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОТРАБОТКИ СИЛОМОМЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАПЛАНЕТНЫМ РОБОТОМ	354
ROBOTICS FOR NUCLEAR INDUSTRY / РОБОТОТЕХНИКА ДЛЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ	355
<i>Ji Sup Yoon, Youngsoo Choi, Kyung-Min Jeong, Jongwon Park</i> RESEARCH WORKS OF EMERGENCY RESPONSIVE ROBOTS AT KAERI	355
<i>Jongwon Park, Young Soo Choi</i> HEAVY DUTY DUAL ARM ROBOT FOR DISASTER RESPONSE	359
<i>V.A. Kozhemyakin</i> RADIATION CONTROL EQUIPMENT FOR REMOTELY PILOTED AIRCRAFTS AND VALIDATION OF AERO-GAMMA SURVEY RESULTS	362
<i>В.А. Кожемякин</i> АППАРАТУРА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ АЭРОГАММА-СЪЕМКИ	363
<i>V.A. Kozhemyakin</i> AUTOMATED STANDARD TOOLS FOR CALIBRATION OF DOSIMETRIC INSTRUMENTS	364
<i>В.А. Кожемякин</i> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЭТАЛОННЫЕ СРЕДСТВА ГРАДУИРОВКИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ	365

<i>V.A. Kozhemyakin, E.V. Bystrov, A.N. Novik, P.V. Kuchinsky</i>	
STANDALONE AUTOMATED SYSTEM FOR RADIATION MONITORING OF ENVIRONMENT	368
<i>В.А. Кожемякин, Е.В. Быстров, А.Н. Новик, П.В. Кучинский</i>	
НЕЗАВИСИМАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	369
<i>M.V. Nosikov</i>	
CONTROL SYSTEM SYNTHESIS OF RADIATION-PROOF MANIPULATOR MR-48 FOR CHAMBERS	370
<i>M.B. Носиков</i>	
СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИМ МАНИПУЛЯТОРОМ МР-48 ДЛЯ ЗАЩИЩЕННЫХ КАМЕР	372
<i>Jianghai Li, V. Promyslov, K. Semenov</i>	
CYBER-PHYSICAL ASSESSMENT OF USING ROBOTS FOR SAFETY OPERATIONS OF A NUCLEAR POWER PLANT	375
<i>Д. Ли, В.Г. Промыслов, К.В. Семенов</i>	
ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ РАБОТ НА АЭС	377
<i>A.V. Zhukov, V.V. Prikhodko, A.A. Sobolev, E.M. Chavkin, A.N. Fomin, V.E. Kiryukhin, V.V. Levshchanov</i>	
A ROBOTIC COMPLEX FOR HOT CELLS AND A TRAINING SIMULATOR	380
<i>А.В. Жуков, В.В. Приходько, А.А. Соболев, Е.М. Чавкин, А.Н. Фомин, В.Е. Кирюхин, В.В. Левщанов</i>	
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ КАМЕР И ТРЕНАЖЕР-СИМУЛЯТОР	382
<i>M.A. Akbarova</i>	
INTEGRATED SAFETY AND LABOR PROTECTION SYSTEM FOR HAZARDOUS INDUSTRIES	384
<i>M.A. Акбарова</i>	
ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ТРУДА ДЛЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	385
MEDICAL ROBOTICS / МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА	387
<i>Alireza Mirbagheri, Alireza Alamdar, Mehdi Moradi</i>	
INTRODUCING THE SINA _{flex} AS A ROBOTIC TELESURGERY SYSTEM WITH FLEXIBLE INSTRUMENTS	387
<i>A.V. Kapustin, Y.V. Loskutov, I.A. Kudryavtsev</i>	
PROVIDING VERTICAL SUPPORT OF A MEDICAL EXOSKELETON. PROBLEMS AND TECHNICAL SOLUTIONS	389
<i>А.В. Капустин, Ю.В. Лоскутов, И.А. Кудрявцев</i>	
ПОДДЕРЖАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКСОСКЕЛЕТА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. ПРОБЛЕМЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ	390
<i>Y.V. Loskutov, A.V. Kapustin, I.A. Kudryavtsev</i>	
RATIONALE FOR ENERGY EQUIVALENT DURABILITY TESTS OF A MEDICAL EXOSKELETON	391

<i>Ю.В. Лоскутов, А.В. Капустин, И.А. Кудрявцев</i> ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭКЗОСКЕЛЕТА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	393
<i>I.A. Kudryavtsev</i> ROBOTIZED RENABILITATION COMPLEX WITH BIOFEEDBACK FOR UPPER EXTREMITIES	395
<i>И.А. Кудрявцев</i> РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС РЕАБИЛИТАЦИИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	396
<i>M.D. Solovyova</i> EXOSKELETT WITH PARALLEL STRUCTURE FOR PATIENTS WITH DISTURBANCES OF LOWER EXTREMITIES	397
<i>М.Д. Соловьева</i> ЭКЗОСКЕЛЕТ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЯМИ ФУНКЦИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ	398
<i>I.A. Kagirov, A.A. Karpov, I.S. Kipyatkova, K.S. Klyuzhev, A.I. Kudryavtsev, I.A. Kudryavtsev, D.A. Ryumin</i> CONTROL OF A ROBOTIC MEDICAL EXOSKELETON THROUGH AN INTELLECTUAL INTERFACE	399
<i>И.А. Кагиров, А.А. Карпов, И.С. Кипяткова, К.С. Ключев, А.И. Кудрявцев, И.А. Кудрявцев, Д.А. Рюмин</i> УПРАВЛЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫМ МЕДИЦИНСКИМ ЭКЗОСКЕЛЕТОМ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИНТЕРФЕЙСА	401
<i>V.M. Vlasenko, S.R. Orlova, A.V. Bakhshiev</i> REVIEW OF MODERN METHODS OF SEGMENTATION OF MEDICAL IMAGES	403
<i>В.М. Власенко, С.Р. Орлова, А.В. Бахшиев</i> ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	405
<i>A.N. Afonin, E.L. Smovdarenko</i> NEURAL-CONTROL INTERFACES IN ROBOTICS	407
<i>А.Н. Афонин, Е.Л. Смовдаренко</i> НЕЙРОИНТЕРФЕЙСЫ В РОБОТОТЕХНИКЕ	409
<i>O.M. Gerget</i> FABRIK ALGORITHM FOR CONTINUOUS MEDICAL ROBOTS	411
<i>О.М. Гергет</i> АЛГОРИТМ FABRIK ДЛЯ НЕПРЕРЫВНЫХ МЕДИЦИНСКИХ РОБОТОВ	412
<i>A.V. Kozhevnikova, O.L. Vlasova, J.E. Homutov, V.S. Podlesny</i> DEVICE FOR A PAIN SYNDROME STUDY	413
<i>А.В. Кожевникова, О.Л. Власова, Е.Э. Хомутов, В.С. Подлесный</i> УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЛЕВОГО СИНДРОМА	414
<i>A.E. Skvortsov, A.A. Kutenkov, V.V. Kharlamov, N.A. Gryaznov, A.V. Lopota, O.N. Reznik</i> NEW PERFUSION DEVICES FOR ISOLATED LIVER PERFUSION	416
<i>А.Е. Скворцов, А.А. Кутенков, В.В. Харламов, Н.А. Грязнов, А.В. Лопота, О.Н. Резник</i> АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРФУЗИИ ИЗОЛИРОВАННОЙ ДОНОРСКОЙ ПЕЧЕНИ	419

<i>E.N. Ivakhno, O.G. Khudasova, V.A. Dubrova, A.U. Aleynikov</i>	
DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A HARDWARE-SOFTWARE SIMULATION MODEL FOR CARRYING OUT DIAGNOSTIC PROCEDURES ON THE VESSELS OF THE LOWER EXTREMITIES	423
<i>Е.Н. Ивахно, О.Г. Худасова, В.А. Дуброва, А.Ю. Алейников</i>	
РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ СИМУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР НА СОСУДАХ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ	425
<i>V. Tolstyh</i>	
MINIMALLY INVASIVE TREATMENT OF HEMORRHOIDS AND ANORECTAL AREA ACOMPANING DISEASES BY “ANGIODIN PROCTO + DUAL-LINE LASER”	427
<i>В.С. Толстых</i>	
МАЛОИНВАЗИВНОЕ ЛЕЧЕНИЕ ГЕМОРРОЯ И СОПУТСТВУЮЩИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ АНОРЕКТАЛЬНОЙ ЗОНЫ НА КОМПЛЕКСЕ «АНГИОДИН-ПРОКТО + ДВУХВОЛНОВЫЙ ЛАЗЕР»	428
<i>S.A. Nikitin, V.V. Kharlamov</i>	
ROBOTIC SYSTEM FOR FUSION BIOPSY	429
<i>С.А. Никитин, В.В. Харламов</i>	
РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФЬЮЖН БИОПСИИ	431
<i>Seyede Marzieh Hosseini, Leila Mirmoghtadaie, Alireza Mirbagheri</i>	
INTRODUCTION OF AN AUTOMATED ROBOTIC INSTRUMENT TO DETERMINATION OF PHYTIC ACID IN CEREAL PRODUCTS BASED ON FE- NANO SENSOR	433
<i>Leila Mirmoghtadaie, Alireza Mirbagheri, Seyede Marzieh Hosseini</i>	
INTRODUCTION OF A ROBOTIC DEVICE TO AUTOMATICALLY DETERMINE FOLIC ACID CONCENTRATION BASED ON ELECTROCHEMICAL BIOSENSOR	434
EDUCATIONAL ROBOTICS / ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА	436
<i>D.A. Egorov, A.S. Gonnochenko</i>	
EUROBOT ROBOTICS COMPETITION AS A MEANS OF TRAINING SPECIALISTS	436
<i>Д.А. Егоров, А.С. Гонноченко</i>	
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СОРЕВНОВАНИЯ EUROBOT, КАК СРЕДСТВО ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ	438
<i>A.R. Efimov, I.A. Stolyarov, D.A. Egorov</i>	
EDUCATIONAL ROBOTICS THROUGH PRACTICAL EXPERIENCE OF EUROBOT TEAMS	441
<i>А.Р. Ефимов, И.А. Столяров, Д.А. Егоров</i>	
ПРОЯВЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ БУДУЩЕГО В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ НА ПРИМЕРЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ОПЫТА КОМАНД EUROBOT	443
<i>M.V. Yarmolinskaya, T.M. Cherkasov</i>	
CREATING CONDITIONS IN SCHOOL FOR THE DEVELOPMENT OF EXTREME ROBOTICS	447

<i>М.В. Ярмолинская, Т.М. Черкасов</i> СОЗДАНИЕ УСЛОВИЙ В ШКОЛЕ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	449
<i>L.A. Lototskii</i> ROBOTICS AT MY SCHOOL FROM WEDO 2.0 TO ARDUINO	451
<i>А.Л. Лотоцкий</i> РОБОТОТЕХНИКА В МОЕЙ ШКОЛЕ ОТ WEDO 2.0 ДО ARDUINO	452
<i>G.A. Pinchuk</i> DEVELOPMENT AND PROMOTION OF EDUCATIONAL ROBOTICS IN SMALL CITIES	454
<i>Г.А. Пинчук</i> РАЗВИТИЕ И ПРОДВИЖЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ В МАЛЫХ ГОРОДАХ	455
<i>P.N. Pustynnik</i> ROBOTICS IN EDUCATION: PROBLEMS AND SOLUTIONS	457
<i>П.Н. Пустыльник</i> РОБОТОТЕХНИКА В ОБРАЗОВАНИИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ	458
<i>O.P. Menshikov</i> ORGANIZATION OF ACTIVITIES OF THE CIRCLE OF EDUCATIONAL ROBOTICS	460
<i>О.П. Меньшиков</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КРУЖКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	461
COLLABORATIVE ROBOTICS / КОЛЛАБОРАТИВНАЯ РОБОТОТЕХНИКА	462
<i>V.P. Andreev</i> THE CONCEPT OF USING THE THEORY OF MULTI- AGENT SYSTEMS TO DESIGN CONTROL SYSTEMS FOR MOBILE ROBOTS WITH MODULAR ARCHITECTURE	462
<i>В.П. Андреев</i> КОНЦЕПЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕОРИИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ	463
<i>R.R. Galin, P.M. Trefilov</i> THE IMPACT OF COLLABORATIVE ROBOTIC SOLUTIONS FOR INCREASING EFFICIENCY OF HUMAN ACTIVITIES	464
<i>Р.Р. Галин, П.М. Трефилов</i> ВЛИЯНИЕ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА	466
<i>A.N. Semochkin, S. Zabihifar, A.R. Efimov</i> GRASPING OF OBJECTS BY MANIPULATOR WITH SPECIFIED METHOD USING KEYPOINTS	469
<i>А.Н. Сёмочкин, Сейедхассан Забихифар, А.Р. Ефимов</i> ЗАХВАТ ОБЪЕКТОВ МАНИПУЛЯТОРОМ ОПРЕДЕЛЕННЫМ СПОСОБОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК	471
<i>V.Ya. Vilisov, B.Yu. Murashkin, A.I. Kulikov</i> SIMULATION MODEL OF TWO-ROBOT COOPERATION IN COMMON OPERATING ENVIRONMENT	473
<i>В.Я. Вилисов, Б.Ю. Мурашкин, А.И. Куликов</i> ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ РОБОТОВ В ОБЩЕЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СРЕДЕ	475

<i>E.V. Umnikov</i> FEATURES OF HUMAN-MACHINE INTERACTION WITH INTELLECTUAL ROBOTICS CONTROL SYSTEMS USING A VIRTUAL TRAINING SPACE	477
<i>Е.В. Умников</i> ОСОБЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО ПОЛИГОНА	478
<i>K.V. Gorbatov, A.K. Rugakov, T.Yu. Mamaeva</i> HI-PRECISION RADAR SENSOR FROM “SILICON RADAR”	480
<i>К.В. Горбатов, А.К. Рыжак, Т.Ю. Мамаева</i> ВЫСОКОТОЧНЫЙ РАДАРНЫЙ СЕНСОР КОМПАНИИ «SILICON RADAR»	480
<i>S.A. Matyunin</i> FIBER-OPTIC SENSORS FOR ANTHROPOMORPHIC ROBOT GRIPPERS	481
<i>С.А. Матюнин</i> ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ЗАХВАТОВ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ	483
<i>D.A. Pavlyukov, E.S. Kvas, S.V. Solyonyj</i> ORGANIZING SECURE ACCESS TO THE INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEM AND IOT SYSTEMS	485
<i>Д.А. Павлюков, Е.С. Квас, С.В. Соленый</i> ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ДОСТУПА К СИСТЕМЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ И IOT СИСТЕМ	485
<i>M.A. Chumichev, D.A. Gribkov, V.E. Pavlovsky, I.A. Orlov</i> A MODEL OF THE PNEUMATIC ARTIFICIAL MUSCLE	486
<i>М.А. Чумичев, Д.А. Грибков, В.Е. Павловский, И.А. Орлов</i> МОДЕЛЬ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ИСКУССТВЕННОЙ МЫШЦЫ	488
<i>V.I. Shiryayev, D.P. Klepach, D.O. Maluygina, A.A. Romanova</i> ABOUT GUARANTEED ESTIMATION OF THE LINEAR DYNAMICAL SYSTEM STATE VECTOR IN THE CONDITIONS OF UNKNOWN INPUT	491
<i>В.И. Ширяев, Д.П. Клепач, Д.О. Малюгина, А.А. Романова</i> О ГАРАНТИРОВАННОМ ОЦЕНИВАНИИ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	493
<i>A.V. Safonov, O.A. Shmakov</i> APPROACHES TO THE DESIGN OF CONTROL SYSTEMS FOR ACTIVE EXOSKELETON	495
<i>А.В. Сафонов, О.А. Шмаков</i> ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ ЭКЗОСКЕЛЕТАМИ	496
<i>A.V. Vasiliev, I.V. Shardyko</i> ANALYSIS OF POTENTIAL CRITICAL SITUATIONS AND METHODS OF THEIR DETECTION, PARRY AND PREVENTION FOR LIGHTWEIGHT MOBILE ROBOTS	498
<i>А.В. Васильев, И.В. Шардыко</i> АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ	

МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ЛЁГКОГО КЛАССА, МЕТОДОВ ИХ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ, ПАРИРОВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ	501
<i>V.M. Kopylov, I.V. Shardyko, A.A. Truts</i> DEVELOPMENT OF A MODULAR MECHATRONIC UNIT WITH ENHANCED REALIABILITY OF TORQUE MEASUREMENT	505
<i>V.M. Kopylov, I.V. Shardyko, A.A. Truts</i> РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОГО УЗЛА МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПОВЫШЕННОЙ НАДЁЖНОСТЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА	507

**GROUND ROBOTICS /
НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

A.A. Piscariov, B.B. Mikhailov
**EXPLOSIVE OBJECTS LOCALIZATION ALGORITHM FOR
NON-DETERMINISTIC WORKSPACE**

BMSTU, Moscow
piscariov@gmail.com, borismboris@yandex.ru

This report tells about localization of dangerous artificial objects in non-deterministic environment. This subject is actual for humanitarian demining of regions which were places of battles or terroristic attacks. The solution suggested is designed for use in complex intelligent robotic control system.

A localization algorithm for 3d-modelled objects is suggested in this report. Objects are placed at arbitrary workspace which also contains some irrelevant complex-shaped objects. 3D vision system provides a workspace view which is a 3D-points set itself. Algorithm allows to detect occurrence of relevant objects at the workspace and calculate their location and orientation.

Spacial object models are build by means of generalized cylinders method. For each cylinder its coordinates and rotation quaternion coefficients are estimated; a modified RANSAC algorithm is used at this step. First time a generalized cylinder which contains the largest number of dots in its locality is chosen. Estimation results are used as initial approximation in approximation procedure when cylinder coordinates and orientation are calculated with higher precision. This procedure repeats for each generalized cylinder in the object model. While approximation a number of dots which fit into object locality is maximized, stochastic optimization methods are used at this step. Then dots, which fit into obtained surface localities, are selected again. If number of such dots is large enough, they are removed from workspace, then the whole procedure repeats.

A few number of workspaces with some missile tail parts were analyzed. For each workspace object model coordinate shift and rotation quaternion components were calculated. Suggested algorithm efficiency is confirmed. Usage of this algorithm as part of mobile robot vision system allows to automate explosive objects localization or provide a supervised mode for remote control.

А.А. Пискарев, Б.Б. Михайлов
**АЛГОРИТМ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ
НА НЕДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СЦЕНЕ**

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва
piscariov@gmail.com, borismboris@yandex.ru

Доклад посвящён проблеме локализации опасных объектов искусственного происхождения в недетерминированной среде. Задача актуальна при гуманитарном разминировании территорий, на которых проходили боевые действия или террористические акты. Предложенное решение предназначено для использования в составе системы интеллектуального управления роботом.

В докладе предлагается алгоритм локализации объектов, для которых имеются пространственные модели. Объекты расположены на произвольной сцене, содержащей также посторонние объекты сложной формы. С помощью СТЗ получено описание сцены в виде множества точек с трехмерными координатами. Алгоритм позволяет определить наличие искомым объектов на сцене, их положение и ориентацию.

Описание объектов в пространстве строится на основе метода обобщённых цилиндров. Для каждого цилиндра выполняется оценка значений координат и компонент единичного кватерниона, задающего его ориентацию; при этом используется незначительно адаптированный алгоритм RANSAC. Сначала выбирается обобщённый цилиндр, окрестность которого содержит наибольшее количество точек сцены. Результаты оценки используются в качестве начального приближения в процедуре уточнения его положения и ориентации. Эта процедура выполняется для всех обобщённых цилиндров, формирующих искомый объект. В ходе уточнения решается задача максимизации количества точек, попадающих в окрестность искомого объекта, при этом используются стохастические методы оптимизации. Далее в сцене повторно выделяются точки, попадающие в окрестности полученных поверхностей. Если таких точек достаточно много, они удаляются из сцены и процедура повторяется.

Были исследованы сцены, содержащие несколько фрагментов хвостовика ракеты. В результате эксперимента для каждой из сцен определены координаты и компоненты кватерниона поворота эталонной модели. Подтверждена работоспособность предложенного алгоритма. Его использование в составе СТЗ мобильного робота позволяет автоматизировать поиск взрывоопасных объектов или облегчить работу оператора при дистанционном управлении.

I.N. Bubnikov, A.N. Yusupov

SAFETY OF ROBOTIC SYSTEMS IN EXTREME CONDITIONS

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint Petersburg, i.bubnikov@gmail.com, a.n.yusupov@gmail.com*

Extreme operation modes of robotic manipulators differ from the standard ones – the task execution has a higher priority than the preservation of the robot's functionality, moreover the robot works on the border of the operating conditions. As a result, the reliability of the robot is not an indicator that should be guided in choosing the operation algorithm. The goal of the operator is to ensure the safety of the robotic system in order to successfully accomplish the task assigned to the robot. Safety means the following:

- safety of the robot for the environment and the working area,
- safety of the robot for itself.

In order to formulate safety requirements for the various parameters characteristics of the robot, it is necessary to determine which states of the robot should be considered dangerous. For this, there is a special hazard and operability study procedure (HAZOP) [1, 2], which consists of the detailed and structured identification of hazards for individual technological systems (structures, nodes). Now, a number of manipulators with a similar structure have been developed, which allows us to consider the robot-manipulator system as a finished product [3, 4].

During the HAZOP procedure, the robot-manipulator system is divided into separate components, the deviations of the characteristics of which must be considered using control words. As an example, one of the most common dangerous situations is considered – the excess of the permissible insulation temperature of the stator winding.

The paper proposes an approach to determine the integrated assessment of the situation – the safety index. The main tool for determining the index is a simulation model. The basic idea is to determine the current parameters of the robot in real time. Then the system is simulated for the near future for the most likely states. After that, the number of violations of the safety requirements model is determined. The conditional frequency, which determines the ratio of unsuccessful outcomes to all simulated variants under the given initial conditions is called the safety index.

The proposed approach is described by the following algorithm:

- 1) identification of condition/goal combination,
- 2) a statistic set – multiple simulation modeling of a robotic system with appropriate variations of operating conditions for a given period of time,
- 3) approximation of the function of the conditional frequency of safety requirements violations,
- 4) determining the safety index – the ratio of the number of negative outcomes to all the results of the simulation model.

A condition is a set of current characteristics of the parameters of the robot, a goal is the operator-defined state of the robot.

The proposed approach is applicable also to elements of technological operations. As an example, the collision of a robot with oneself or the environment is considered.

1. GOST 51901.11-2005 Risk management. Hazard and operability studies. Application guide.
2. Ibadulaev V.A., Stepanov I.V., Turusov S.N. Experience of creating decision support systems in emergency situations - Monitoring. Science and Technologies. 2014. № 2. P. 14-31.
3. Shardyko I.V., Yusupov A.N. Implementation of stiff and compliant control for joint of space manipulation systems – Robotics and Technical Cybernetics. 2018. № 4. P.60-67.
4. Shardyko I.V., Titov V.V. A closed-form solution of IK task for a 6-DOF manipulator with pitch axes offset and a technique of fast joint space trajectory computation – Extreme Robotics. 2017. № 1. P. 17-29

И.Н. Бубников, А.Н. Юсупов
**БЕЗОПАСНОСТЬ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

*СПбПУ, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
i.bubnikov@gmail.com, a.n.yusupov@gmail.com*

Экстремальные режимы работы роботов-манипуляторов отличаются от штатных – выполнение задачи имеет более высокий приоритет, чем сохранение функциональности робота, при этом робот работает на границе условий функционирования. В результате надежность робота не является показателем, которым следует руководствоваться при выборе алгоритма работы. Целью оператора становится обеспечение безопасности робототехнической системы с целью успешного выполнения поставленной перед роботом задачи.

Под безопасностью понимается следующее:

- безопасность робота для окружения и рабочей зоны,
- безопасность робота для самого себя.

Для того, чтобы выдвинуть требования безопасности, предъявляемые к характеристикам различных параметров робота, необходимо определить, какие состояния робота следует считать опасными. Для этого существует специальная процедура исследования опасности и работоспособности (HAZOP – Hazard and Operability Study) [1, 2], которая заключается в детальной и структурированной идентификации опасностей для отдельных технологических систем (участков, узлов). На данный момент разработан ряд манипуляторов со схожей структурой, что позволяет рассматривать систему робота-манипулятора как готовый продукт [3, 4].

В ходе выполнения процедуры HAZOP система робота-манипулятора делится на отдельные компоненты, отклонения характеристик которых необходимо рассматривать с применением управляющих слов. В качестве примера рассматривается одна из самых распространенных опасных ситуаций – превышение допустимой температуры изоляции статорной обмотки.

В работе предложен подход для определения интегрированной оценки ситуации – индекса безопасности. Основным инструментом определения индекса выбрана имитационная модель. Основная идея заключается в определении текущих параметров робота в режиме реального времени. Затем выполняется моделирование системы на ближайшее время для наиболее вероятных состояний. После этого определяется количество нарушений моделью требований безопасности. Условная частота, определяющая отношение неудачных исходов ко всем промоделированным вариантам при заданных начальных условиях, называется индексом безопасности.

Предлагаемый подход описывается следующим алгоритмом:

- 1) идентификация комбинации условия/цели,
- 2) набор статистики – многократное имитационное моделирование робототехнической системы при соответствующих вариациях условий функционирования на заданном промежутке времени,
- 3) аппроксимация функции условной частоты нарушений требований безопасности,
- 4) определение индекса безопасности – отношения числа негативных исходов ко всем результатам работы имитационной модели.

Под условием понимается набор текущих характеристик параметров робота, под целью – заданное оператором состояние робота.

Предложенный подход применим также и для элементов технологических операций. В качестве примера рассматривается столкновение робота с самим собой или окружающей средой.

1. ГОСТ Р 51901.11-2005 Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство.
2. Ибадулаев В.А., Степанов И.В., Турусов С.Н. Опыт создания систем поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях – Мониторинг. Наука и безопасность. 2014. № 2. С. 14-31.
3. Шардыко И.В., Юсупов А.Н. Реализация алгоритмов жёсткого и податливого траекторного управления шарниром манипуляционной системы – Робототехника и техническая кибернетика. 2018. № 4. С. 60-67.
4. Шардыко И.В., Титов В.В. Частный случай решения обратной задачи кинематики шестистепенного манипулятора и методика быстрого решения траекторной задачи в пространстве обобщенных координат. Экстремальная робототехника. 2017. № 1. С. 17-29.

S.V. Andreenko
**ISSUES OF ROBOTIZATION OF BASES OF STORAGE OF
RESOURCES OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS OF
THE RUSSIAN FEDERATION AND THEIR
MATHEMATICAL MODELLING**

*Federal State Institution "Central Joint Base of Storage of Resources
of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation", Moscow
andreenko.sergej@yandex.ru*

Abstract

In this article primary approach to the solution of an issue of robotization of bases of storage of resources of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation on the example of federal state institution "Central Joint Base of Storage of Resources of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation" reveals. The existing technical component of storages of material means is analyzed and, proceeding from it, offers on re-equipment of data of storages with robotic means are formulated. The project of mathematical model of combined use of land robotic complexes, various on degree of mobility, on the basis of storage of resources of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation in interaction with each other is under construction.

Keywords

Robotic complex, Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, storages, operational and warehouse activity, means of mechanization and their robotization, mathematical model, matrix, set of environments.

С.В. Андреевко
**ВОПРОСЫ РОБОТИЗАЦИИ БАЗ ХРАНЕНИЯ РЕСУРСОВ
МВД РОССИИ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Федеральное казенное учреждение «Центральная объединенная
база хранения ресурсов МВД России», Москва
andreenko.sergej@yandex.ru*

Аннотация

В данной статье раскрывается первичный подход к решению вопроса роботизации баз хранения ресурсов МВД России на примере федерального казенного учреждения «Центральная объединенная база хранения ресурсов МВД России». Анализируется существующая техническая составляющая хранилищ материально-технических средств и, исходя из этого, формулируются предложения по переоснащению данных хранилищ робототехническими средствами. Строится проект математической модели совместного применения различных по степени подвижности наземных робототехнических комплексов на базе хранения ресурсов МВД России во взаимодействии друг с другом.

Ключевые слова

Робототехнический комплекс, МВД России, хранилища, операционно-складская деятельность, средства механизации и их роботизация, математическая модель, матрица, совокупность сред.

I.A. Kudryavtsev
**INTELLIGENT ELECTROMECHANICAL EXECUTIVE
MECHANISMS BASED ON A CYCLOIDAL DRIVE**

*FSBEI of the "Volga State University of Technology",
Yoshkar-Ola, Russia
KudryavtsevIA@volgatech.net*

In the process of development of robotic systems, special attention is paid to the selection of actuators, while their reliability is considered to be a key factor.

An electromechanical actuator has been developed on the basis of a cycloidal drive with self-diagnostic capabilities according to the following parameters:

- play in the drive,
- moment of moving,
- coefficient of performance.

Such measurements in the current mode allow to predict the service life of the executive mechanism as well as to predict the possibility of an emergency.

In comparison with classical involute gears, the use of gears designed on the base of the cycloidal drive in the actuator allows to have significantly smaller dimensions and weight, longer service life, higher kinematic accuracy, higher load and overload capacity.

Such advantages are ensured by the fact that the cycloidal drive is characterized by multiple contact.

Besides, various options for layout solutions have been developed.

These advantages are used to design electromechanical actuators of the REMOTION robotized medical exoskeleton drives, intended for the rehabilitation of patients with impaired lower limbs.

1. Kudryavtsev I.A. Two-stage planetary gear train. Pat.RU 2535369. Publ. 12/10/2014 Bull. No. 34.
2. Kudryavtsev I.A. and others. Gearing. Pat.RU 2569077. Publ. 11/20/2015 Bull. №32.

И.А. Кудрявцев
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ НА ОСНОВЕ
ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНЫХ ПЕРЕДАЧ**

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
технологический университет», г. Йошкар-Ола
KudryavtsevIA@volgatech.net*

При разработке робототехнических систем особое внимание уделяется подбору исполнительных механизмов, при этом их надежность является решающим фактором.

Разработан электромеханический исполнительный механизм на основе планетарно-цевочной передачи с возможностями самодиагностики по следующим параметрам:

- люфт в передаче,
- момент страгивания,
- коэффициент полезного действия.

Такие замеры в текущем режиме позволяют прогнозировать оставшийся ресурс в исполнительном механизме, прогнозировать наступление аварийной ситуации.

Использование в исполнительном механизме редукторов, построенных на основе планетарно-цевочных передач позволяет иметь, в сравнении с классическими зубчатыми эвольвентными передачами, существенно меньшие габариты и массу, больший ресурс, более высокую кинематическую точность, более высокую нагрузочную и перегрузочную способность.

Такие преимущества обеспечиваются за счет того, что цевочная передача характеризуется многопарностью зацепления.

Разработаны различные варианты компоновочных решений.

Указанные преимущества реализованы в электромеханических исполнительных механизмах приводов роботизированного экзоскелета медицинского назначения «REMOTION», предназначенного для реабилитации пациентов с нарушениями функций нижних конечностей.

1. Кудрявцев И.А. Двухступенчатый планетарно-цевочный редуктор. Пат. RU 2535369. Оpubл. 10.12.2014 Бюл. №34
2. Кудрявцев И.А. и др. Зубчатая передача. Пат. RU 2569077. Оpubл. 20.11.2015 Бюл. №32.

A.N. Kosenko, D.M. Korolev, O.A. Shmakov
METHODS OF USING MODULAR CIRCUIT UNITS
FOR MOBILE ROBOTIC SYSTEMS DESIGN

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg*
kosenko.ank@yandex.ru, d.korolev@rtc.ru, shmakov@rtc.ru

One of the concepts of mobile robotic systems development is using of modular units. Modularity provides a common approach to development, which greatly simplifies the workflow [1]. The paper considers the possibility of control systems design for mobile robotic systems of three environments – ground, air and underwater – via a modular approach. The main point of that approach is to use separate modules (nodes), which are common parts of various devices.

The disadvantage of the method is, firstly, a large number of cable connections between specific modules, which can lead to errors during assembling. Secondly, such modules should be unified (i.e. they should contain the maximum functionality of specific node). At the same time, the using of modularity can simplify the process of device development and essentially reduce the time for robotic system development. In addition, the using of a modular structure can expand the possibilities of upgrading such a system by replacing existing modules or adding new modules that increase the functionality of the robot.

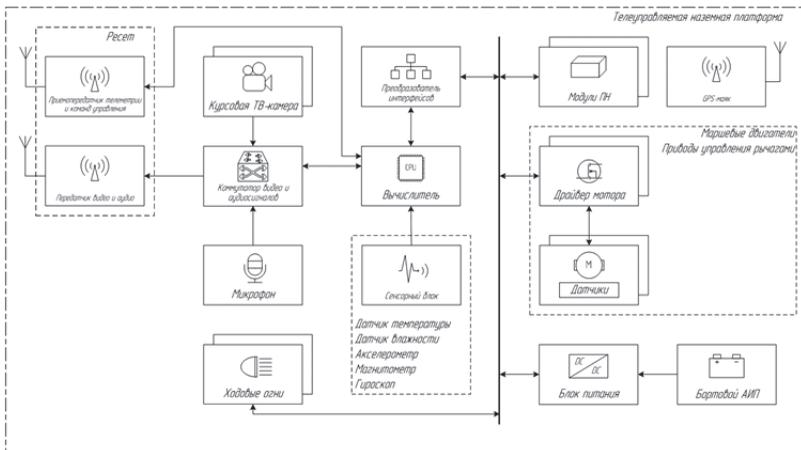


Figure 1 – The block diagram of the control system for the ground robot

One of the most demonstrative examples is the development of robotic systems based in different environments – ground, air, and underwater.

Each robot of the concrete environment has general elements – the motherboard, power supply, the motor controller, etc. Figure 1 shows the block diagram of the control system for the ground-based robotic system.

First of all, one of the main common nodes for all systems is a motherboard that provides central control of all parts of the robot and the connection between them. Secondly, this is a power supply unit, which provides the whole system with electricity. Thirdly, – the motor driver controller. At the present days, one of the most commonly used motors is brushless motors due to their power parameters, flexible control modes and the possibility of use in water [2]. Accordingly, a unified controller module allows a wide usage of brushless motors. It is also advisable to develop remote audio/video surveillance modules, payload modules, receiver, and transceiver modules on a modular basis.

1. <http://kmpu.ru/theory/index.html>
2. <http://www.avislab.com/blog/brushless01/>

А.Н. Косенко, Д.М. Королев, О.А. Шмаков
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
kosenko.ank@yandex.ru, d.korolev@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

Одним из общих подходов при разработке робототехнической системы (РТС) является использование модульных узлов. Модульность существенно упрощает рабочий процесс [1]. В данной работе рассмотрена возможность построения систем управления мобильными робототехническими системами трех сред базирования – наземной, воздушной и подводной – с использованием модульного подхода. Суть такого подхода заключается в использовании модулей (узлов), которые являются общими при разработке различных устройств.

Среди недостатков данного подхода отмечается, во-первых, большое количество кабельных соединений между отдельными модулями, что может приводить к ошибкам при монтаже. Во-вторых, такие модули должны быть унифицированы (т.е. в них должен быть заложен максимальный функционал конкретного узла). В то же время использование модульности позволяет существенно упростить процесс и сократить время разработки устройства. Кроме того, применение модульной структуры позволяет масштабировать возможность модернизации такой системы путем замены существующих или добавления новых модулей, увеличивающих функциональность робота.

Наиболее показательным является модульный подход при разработке РТС базирования в различных средах – наземной, воздушной и подводной. В каждом робототехническом комплексе (РТК) своей непосредственной среды базирования используются общие элементы – вычислитель, автономный источник питания (АИП), контроллер электроприводов и другие. На рисунке 1 представлен пример структурной схемы системы управления робототехнического комплекса наземной среды базирования.

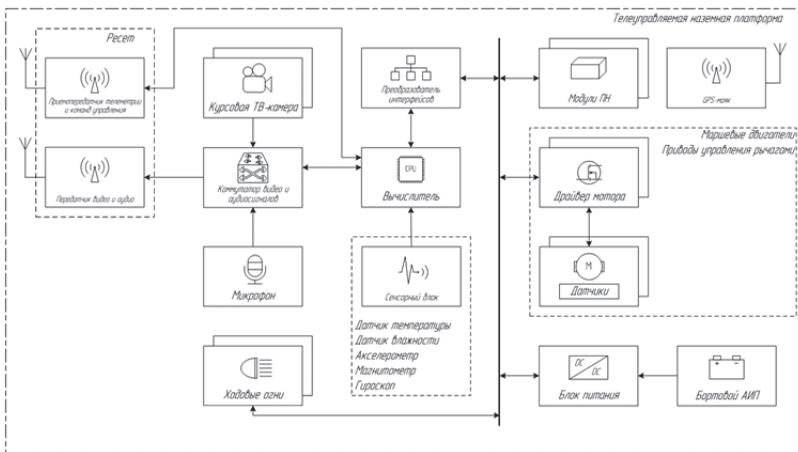


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления РТК наземной среды базирования

Общим узлом для всех систем в первую очередь является вычислитель, обеспечивающий централизованное управление всеми частями робота и взаимосвязь между ними. Во-вторых, – это узел АИП, который обеспечивает робота электроэнергией. В-третьих, – модуль контроллера электроприводов. В настоящее время наиболее часто применимы бесколлекторные двигатели ввиду их мощностных параметров, возможности реализации гибких режимов управления и перспективы применения в воде и агрессивных средах [2]. Таким образом, единый модуль контроллера позволяет широко применять бесколлекторные двигатели. Также на модульной основе целесообразно разработать модули аудио-видео наблюдения, модули полезной нагрузки и модули приемопередатчика.

1. <http://kmpu.ru/theory/index.html>
2. <http://www.avislab.com/blog/brushless01/>

V.P. Andreev, P.F. Pleteney
**A STUDY OF THE APPLICABILITY OF DIFFERENT
NETWORKS AND TOPOLOGIES IN A MODULAR
ROBOT WITH A PYRAMIDAL STRUCTURE
OF CONTROL SYSTEM**

*MSTU "STANKIN", IINET RSUH,
IL "Sensorika", Moscow
andreevvipa@yandex.ru, cpp.create@gmail.com*

The features of mobile modular robots with a pyramidal (multi-level) structure of information-measuring and control system (IMCS) from the point of view of inter-module network inter-level and intra-level interaction are considered. The modular architecture allows for rapid reconfiguration of robotic systems. The use of hierarchical topology for the construction of IMCS robot, when each module and submodule has its own IMCS with a separate computer, allows one to increase the performance of the system by distributing the computational load between the computing devices of the modules. The implementation of distributed computing in a multiprocessor system with a hierarchical topology imposes a number of restrictions on the organization of intermodule information interaction. Based on the analysis of logical intermodule connections and evaluation of possible information flows in a system with distributed computing, the requirements for both the types of networks themselves and their topology are formulated. In the context of these requirements, the existing networks and protocols of information exchange are evaluated, their brief description is given.

*Research is supported by the Russian Foundation for Basic Research:
Grant 19-07-00892a.*

В.П. Андреев, П.Ф. Плетенев
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СЕТЕЙ
И ТОПОЛОГИЙ В МОДУЛЬНОМ РОБОТЕ
С ПИРАМИДАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

*МГТУ «СТАНКИН», МИНОТ РГГУ,
МЛ «Сенсорика», Москва
andreevvipa@yandex.ru, cpp.create@gmail.com*

Рассматриваются особенности мобильных модульных роботов с пирамидальной (многоуровневой) структурой информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) с точки зрения межмодульного сетевого межуровневого и внутриуровневого взаимодействия. Модульная архитектура позволяет реализовать оперативное реконфигурирование робототехнических систем. Использование иерархической топологии для построения ИИУС робота, когда каждый модуль и submodule имеет собственную ИИУС с отдельным вычислителем, позволяет увеличить быстродействие системы за счёт распределения вычислительной нагрузки между вычислительными устройствами модулей. Реализация распределённых вычислений в многопроцессорной системе с иерархической топологией накладывает ряд ограничений на организацию межмодульного информационного взаимодействия. На основе анализа логических межмодульных связей и оценки возможных информационных потоков в системе с распределёнными вычислениями формулируются требования как к типам самих сетей, так и к их топологии. В контексте этих требований рассматриваются существующие сети и протоколы информационного взаимодействия, приводится их краткая характеристика.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ: Грант 19-07-00892а.

*E.S. Briskin^{1,2}, Ya.V. Kalinin^{1,2},
A.V. Maloletov^{1,2}, K.Yu. Lepetukhin¹*

**THE CONCEPT OF A BENDABLE MULTI-SECTION
RAINWAY MACHINE OF CIRCULAR ACTION**

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, dtm@vstu.ru

*²Center for Technology Components of Robotics and Mechatronics,
Innopolis University, Innopolis, Russia, maloletov@gmail.com*

In agriculture, multisection circular irrigation machines are widely used. Known as domestic machines "Kuban", "Frigate", etc., and foreign [1]. The design feature of such machines is that they consist of articulated trusses, each of which rests on a traction support cart mounted perpendicular to the truss. One of the drawbacks of such machines is the well-defined form of irrigated fields with a border in the form of circles. In this regard, a sufficiently large area of fertile land is lost, which, with an appropriate level of irrigation, could produce good yields. Known solutions aimed at increasing the irrigated area are based on the rational distribution of the centers of such machines, the choice of their dimensions and the processing of well-defined sectors (Fig. 1) or on changing the shape of the sprinkler caused by turning its farms relative to each other (Fig. 2). However, in the latter case, the support cart must be able to rotate relative to the truss for the subsequent joint movement of all the farms of the sprinkler as a single solid body. In this case, the number of drives increases and the design of the support carriage and control system becomes more complicated. Therefore, the actual may be the task of changing the shape of the machine without increasing the number of drives and complicating the control system. Therefore, the actual may be the task of changing the shape of the machine without increasing the number of drives and complicating the control system. Such a task, due to the need for coordinated management of the group of supporting traction carts, is a type of the task of group management of robots, to which increased attention has recently been paid [2], and its peculiarity is an obvious practical significance.

The task is to change the shape of a multisection circular irrigation machine by changing the speeds of the support carts in such a way that maximum copying of the field edge profile is achieved, and minimum energy expenditure to change and maintain the shape of the curved sprinkler is achieved during movement and irrigation.

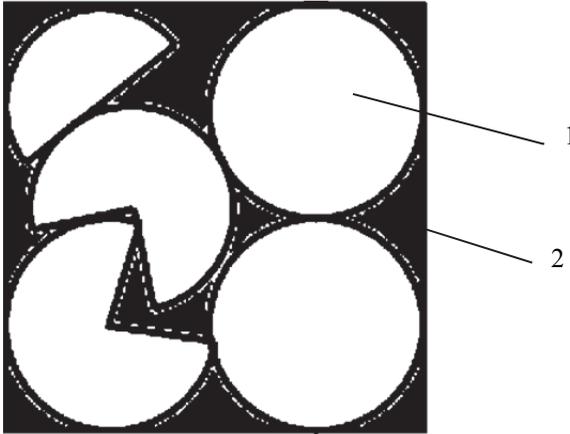


Figure 1 – Modified forms of irrigated fields:
1 – irrigated area, 2 – non-irrigated area

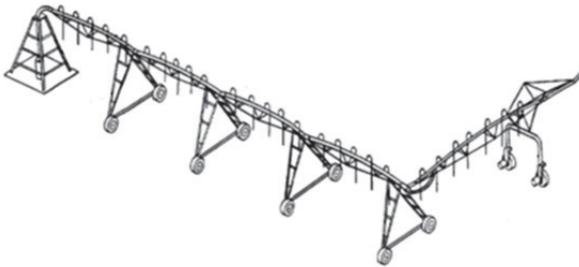


Figure 2 – Sprinkler with a variable configuration

The results obtained make it possible to change the shape of multisection articulated sprinkling machines within fairly wide limits. Discovered, described and justified effects make it possible to purposefully and energetically effectively control the movement of flexible multi-section sprinklers when processing fields of non-circular shape

The work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 18-71-10069).

1. <http://bsgmelio.ru/>.
2. Fundamental'nyye Problemy Gruppovogo Vzaimodeystviya Robotov / Materialy otchetno meropriyatiya RFFI po konkursu "ofi-m" (tema 604) v ramkakh mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Progress transportnykh sredstv i sistem // Volgograd. VolgGTU. 2018. 48 s.

*Е.С. Брискин^{1,2}, Я.В. Калинин^{1,2},
А.В. Малолетов^{1,2}, К.Ю. Лепетухин¹*
**КОНЦЕПЦИЯ ИЗГИБАЕМОЙ МНОГОСЕКЦИОННОЙ
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ**

*¹Волгоградский государственный технический университет,
Волгоград, dtm@vstu.ru*

*²Центр технологий компонентов робототехники и мехатроники,
Иннополис, maloletov@gmail.com*

В сельском хозяйстве широко применяются многосекционные дождевальные машины кругового действия. Известны как отечественные машины «Кубань», «Фрегат» и др., так и зарубежные [1]. Конструктивная особенность таких машин состоит в том, что они состоят из шарнирно связанных ферм, каждая из которых опирается на тяговую опорную тележку, установленную перпендикулярно ферме. Одним из недостатков таких машин является вполне определенная форма орошаемых полей с границей в виде окружностей. В связи с этим теряется достаточно большая площадь плодородных земель, которые при должном уровне орошения могли бы давать хорошие урожаи. Известные решения, направленные на увеличение орошаемых площадей основаны на рациональном размещении центров таких машин, выбора их габаритов и обработка вполне определенных секторов (рис. 1) или на изменении формы дождевальной машины вызываемой поворотом её ферм друг относительно друга (рис. 2). Однако, в последнем случае, опорная тележка должна иметь возможность поворачиваться относительно фермы для последующего совместного движения всех ферм дождевальной машины как единого твердого тела. В этом случае увеличивается число приводов и усложняется конструкция опорной тележки и системы управления. Поэтому актуальной может являться задача изменения формы машины без увеличения числа приводов и усложнения системы управления. Такая задача, в силу необходимости согласованного управления группой опорных тяговых тележек, является разновидностью задачи группового управления роботом, к которым в последнее время уделяется повышенное внимание [2], а её особенностью является и явная практическая значимость.

Ставится задача изменения формы многосекционной дождевальной машиной кругового действия за счёт изменения скоростей опорных тележек таким образом, чтобы достигалось максимальное копирование профиля кромки поля, а также достигался минимум затрат энергии на изменение и удержание формы изогнутой дождевальной машины в процессе движения и полива.



Рисунок 1 – Измененные формы орошаемых полей:
1 – орошаемые площади, 2 – неорошаемые площади

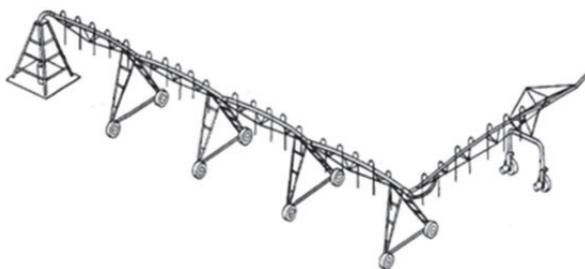


Рисунок 2 - Дождевальная машина с изменяемой конфигурацией

Полученные результаты дают возможность изменять форму многосекционных шарнирно-связанных дождевальных машин в достаточно широких пределах. Обнаруженные, описанные и обоснованные эффекты дают возможность целенаправленно и энергетически эффективно управлять движением изгибаемых многосекционных дождевальных машин при обработке полей некруглой формы.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 18-71-10069).

1. <http://bsgmelio.ru/>.
2. Фундаментальные проблемы группового взаимодействия роботов / Материалы отчетного мероприятия РФФИ по конкурсу "офи-м" (тема 604) в рамках международной научно-практической конференции Прогресс транспортных средств и систем // Волгоград. ВолгГТУ. 2018. 48 с.

*V.E. Pavlovsky^{1,2}, M.V. Andreeva², E.Yu. Kolisnechenko¹,
I.A. Orlov^{1,2}, A.P. Aliseychik¹, A.V. Podoprosvetov¹*
**THE LOGISTICS SYSTEM CONSTRUCTED BY GROUP
OF TRIANGULAR ROBOTS WITH OMNI-WHEELS**

¹*M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics of the Russian Academy of Sciences (KIAM), Moscow, vlpavl@mail.ru, i.orlov@keldysh.ru*

²*Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, point15@ro.ru*

In article, the control of the robot with three omni-wheels for creation of a specialized logistics system is studied. The feature of the elaborated robot is that he presents himself the platform in the form of a rectangular triangle. In work function of control is investigated and obvious formulas of the torques of forces, which need to be put to wheels for the movement along the given trajectory are given. Two special cases of the movement are considered: forward and the movement on a tangent to a trajectory in relation to the offered problem of logistics.

Logistics system on basis of triangular robots

For transportation of non-standard or heavy freights the basic robots described above have to unite in group. It is supposed that robots unite side to sides of the cases without gaps so that completely to cover a freight projection to the plane parallel to the transportation plane. Mathematically it is a problem of a covering or the task of tiling (a task about parquets). In work, its solution for a problem of tiling of a projection of the transported freight is discussed. The connected robots keep in the connected state or by means of special control of their movement, or with electric locks on sides. Modeling and prototyping of a system is executed, results are effective and presented in the report.



Figure 1 – Prototype of the robot

The idea of a system is shown in Fig. 1 and Fig. 2. Fig.1 – the triangular omni-robot, a view from the part of running wheels. Fig. 2 is a

freight projection covering triangular robots; the additional robots not obligatory in a covering are highlighted with color.

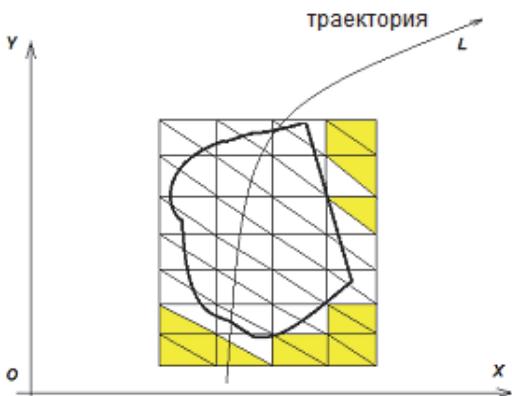


Figure. 2 – Example of transportation of bulky goods

***В.Е. Павловский^{1,2}, М.В. Андреева², Е.Ю. Колесниченко¹,
И.А. Орлов^{1,2}, А.П. Алисейчик¹, А.В. Подопросветов¹***
**ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ПОСТРОЕННАЯ ГРУППОЙ
ТРЕУГОЛЬНЫХ РОБОТОВ С ОМНИ-КОЛЕСАМИ**

¹*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН,
Москва, vlpavl@mail.ru, i.orlov@keldysh.ru*

²*Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), Москва, point15@ro.ru*

В статье изучается управление роботом с тремя оми-колесами для создания специализированной логистической системы. Особенность изучаемого робота в том, что он представляет собой платформу в виде прямоугольного треугольника. В работе исследуется функция управления и приведены явные формулы моментов сил, которые нужно приложить к колесам для движения вдоль заданной траектории. Рассмотрено два частных случая движения: поступательное и движение по касательной к траектории применительно к предлагаемой задаче логистики.

Логистическая система на базе треугольных роботов

Для транспортировки нестандартных или тяжелых грузов базовые роботы, описанные выше, должны объединяться в группу. Предполагается, что роботы соединяются боковыми гранями своих корпусов без зазоров так, чтобы полностью покрыть проекцию груза на плоскость, параллельную плоскости перевозки. Математически это

задача покрытия или замощения (задача о паркетах). В работе обсуждается ее решение для задачи замощения проекции перевозимого груза. Соединенные роботы удерживаются в соединенном состоянии либо с помощью специального управления их движением, либо электрическими замками на боковых гранях. Выполнено моделирование и макетирование системы, результаты представлены в докладе.

Идея системы показана ниже на Рис. 1 и Рис.2. Рис. 1 – треугольный омни-робот, вид со стороны ходовой части. Рис. 2 – покрытие проекции груза треугольными роботами, цветом выделены дополнительные роботы, не обязательные в покрытии.



Рисунок 2 – Прототип робота

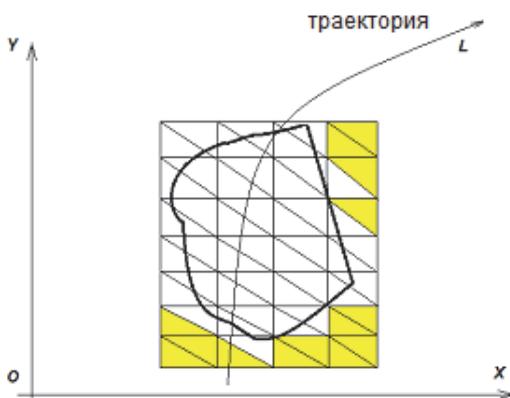


Рисунок 3 – Пример перевозки негабаритного груза

P.S. Baranov¹, A.S. Kurnikov¹, A.A. Mantsvetov¹, V.V. Pyatkov²
MULTI-PULSE ACTIVE CCD TELEVISION SYSTEM
MODEL FOR 3D IMAGING

¹ *St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg,
psbaranov@etu.ru, kurnikov93@inbox.ru, spmtv@yandex.ru*
² *Television Scientific Research Institute, St. Petersburg, pyatkov@niitv.ru*

Currently, the direction of active 3-D imaging systems is progressed. Application in a variety of industries, such as design, construction, autonomous transport, and also space television is increased. A lot of methods for constructing a full or partial 3-D image of an object is existed. There are include systems using structured light, a mechanical scanning system, systems with a phase or pulse range measurement method.

The purpose of this work is to develop a new 3D imaging method for constructing objects using a multi-pulse active television system.

In the research process, existing 3D imaging methods were analyzed and the closest one using pulse range measurement method was identified. On its basis, a new method is proposed, based on the use CCD in the mode of ultra-small integration time. To verify the proposed method, a test model is developed.

In the future, the model will be used to obtain practical results of the existing and new method. After the results are obtained, the two methods will be compared.

П.С. Баранов¹, А.С. Курников¹, А.А. Манцетов¹, В.В. Пятков²
МАКЕТ МНОГОИМПУЛЬСНОЙ АКТИВНОЙ
ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
ТРЕХМЕРНОГО ОБРАЗА ОБЪЕКТА

¹ СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, *psbaranov@etu.ru*,
kurnikov93@inbox.ru, *spmtv@yandex.ru*

² АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, *pyatkov@niitv.ru*

В настоящее время развивается направление активных телевизионных систем для построения 3-х мерных образов объекта. Они находят свое применение во множестве отраслей, таких как проектирование, строительство, автономный транспорт, а также космическое телевидение. Существует большое количество методов для построения полного или частичного 3-х мерного образа объекта. К ним относятся системы с использованием структурированного света, системы механического сканирования, системы с фазовым или импульсным методом измерения дальности.

Целью работы является разработка нового метода построения объемного образа объектов при помощи многоимпульсной активной телевизионной системы.

В ходе исследования проанализированы существующие способы решения задачи построения 3-х мерного образа объекта и выделен наиболее близкий, использующий импульсный метод измерения дальности. На его основе предлагается новый метод, базирующийся на использовании матричного прибора с зарядовой связью в режиме сверх малого времени накопления. Для проверки работоспособности предложенного метода разработан макет.

В дальнейшем макет будет использован для получения практических результатов работы уже существующего и нового метода. После получения результатов будет проведено сравнение двух методов.

B.S. Lapin¹, I.L. Ermolov², S.A. Sobolnikov¹
THE COMPUTATIONAL EFFICIENT APPROACH
FOR SURFACE PARAMETERS DETECTION
BY UGV WITH KNOWN POSITION

¹*MSTU "STANKIN", Moscow*

²*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow,*
ermolov@ipmnet.ru

Increase of UGVs' autonomy is one of key-tasks for contemporary Robotics. Autonomous unmanned systems increase performance efficiency of UGVs, decline negative consequences of human factor, simplify prerequisites to skills of human-operator, considerable unload communication traffic between robot and manual control post, eliminate restrictions due to human thinking delays, create new challenges for using UGVs in groups, make breakthrough in robots' optimization [1].

Autonomy of UGVs must be supported by efficient models of environment. This is needed for a variety of control tasks including navigation, trajectory planning, and transportation over rough terrain with poor visibility of environment etc. One of challenging tasks is terrain identification for further motion planning [2,3].

This task is considerable sophisticated by a fact of drastically limits of energy and computational resources available on board of mobile robots.

This paper presents new approach for terrain identification by UGV with known position and limited computational resources

Resultant terrain data allow to effectively solve tasks of motions planning, SLAM task and bring necessary corrections to odometry of a UGV.

This work is supported by RFBR Grant №16-29-04199 ofi_m.

1. Ermolov I.L., O faktorah, vliyayushchih na uroven' avtonomnosti v prostranstve transportnyh shassi nazemnyh mobil'nyh robotov (*On the factors affecting the level of autonomy of transport chassis of ground mobile robots*) "Izvestiya YuFU. Technical Sciences", №1, pp 210-218, 2016. *In Russian*
2. V.G. Gradetsky, I.L. Ermolov, M.M. Knyazkov, E.A. Semenov, A.N. Sukhanov, Silovoe vzaimodejstvie mobil'nogo nagruzhennogo robota s gruntom (*The force interaction of loaded mobile robot with the ground*). *Mechatronics, automation, control*, (12):819–824, 2017. *In Russian*
3. Kudryashov V.B., Lapshov V.S., Noskov V.P., Rubtsov I.V., Robotics problems in UGV, "Izvestiya YuFU. Technical Sciences", pp. 42-57, 2014. *In Russian*

Б.С. Лапин¹, И.Л. Ермолов², С.А. Собольников¹
МЕТОД ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО ЭФФЕКТИВНОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ
С ИЗВЕСТНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ

¹МГТУ "СТАНКИН", Москва

²Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук (ИПМех РАН), Москва
ermolov@ipmnet.ru

Создание автономных наземных РТК позволяет повысить эффективность применения РТК, уменьшить человеческий фактор, уменьшить требования к квалификации оператора РТК, существенно уменьшить нагрузку на канал связи между человеком и РТК, либо вовсе обойтись без него, избавиться от ограничений, связанных с задержкой управления, неполноценностью информации передаваемой оператору, расширить возможность применения координированного управления группами РТК, оптимальных алгоритмов управления и т.п.[1]

Успешность обеспечения автономности РТК во многом обусловлена созданием моделей окружающей среды таких, чтобы в них возможно было решать задачи автономного управления (задачи навигации на местности, планирования траекторий движения и управления в условиях, затрудненных неоднородностью опорной поверхности, в условиях плохой видимости и других особенностях естественной среды). Особой проблемой при создании таких моделей, является задача идентификации опорной поверхности по которой движется мобильный РТК. [2,3]

Основным фактором, осложняющим разработку автономных РТК является ограниченность ресурсов, как вычислительных, так и энергетических, доступных к использованию мобильным РТК.

В работе будет предложен вычислительно простой подход для определения характеристик опорного основания автономным мобильным роботом наземного базирования, положение которого известно.

Данные о характеристиках опорного основания позволяют более эффективно решать задачу планирования движения робота, выполнять более подробное картографирование, корректировать модель расчета одометрии.[3]

Работа поддержана грантом РФФИ №16-29-04199 офу_м.

1. Ермолов И.Л., О факторах, влияющих на уровень автономности в пространстве транспортных шасси наземных мобильных роботов "Известия ЮФУ. Технические науки", №1, 210-218с, 2016.

2. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семенов Е.А., Собольников С.А., Суханов А.Н., Силовое взаимодействие мобильного нагруженного робота с грунтом, "Мехатроника. Автоматизация. Управление", №12, 2017.
3. Кудряшов В.Б., Лапшов В.С., Носков В.П., Рубцов И.В. Проблемы роботизации ВВТ в части наземной составляющей "Известия ЮФУ. Технические науки", №3, 42-57с, 2014.

M.A. Nogin, A.L. Korotkov, O.A. Shmakov
**METHODOLOGY FOR THE QUALITY ASSESSING OF
THE OBSTACLE OVERCOMING BY MOBILE ROBOTS**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint Petersburg, m.nogin@rtc.ru, a.korotkov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

For organizations involved in the development of mobile robotic systems for various purposes, the question of testing their technical characteristics arises. To fully understand how the mobile platform will function in real conditions, long-term maintenance of the robot in such conditions is necessary. Testing often entails many complicating factors that impede the rapid conduct of research, for example, repairs. Carrying out full-scale research and obtaining an objective assessment of the technical characteristics of the developed platforms require a methodological research base.

In addition to the methods of direct testing, it is necessary to use methods to assess the overcoming of the obstacles. With a proper application of assessment techniques, the quality of testing can be significantly improved. Under the proper application refers to the use of assessment methods in the context of a flexible testing methodology that adapts to the purpose, requirements and actual capabilities of the tested robots.

The methodology of testing is based on the qualitative assessment method, which includes a preliminary overcoming of all obstacles of the RTC test ground in the order shown in Figure 1. For robots equipped with manipulation systems, this order is complemented by using this system at the stage of passing the module of reconfigurable placements (item 18). The extension for this item is shown in Figure 2.

Based on the purpose of the tested robot and the requirements placed on it, methodologies for conducting and evaluating the tests are built. After receiving the results of the preliminary overcoming, on the basis of a preliminary assessment of the actual capabilities of the robot, the methods are adjusted and, according to them, the main tests are carried out.

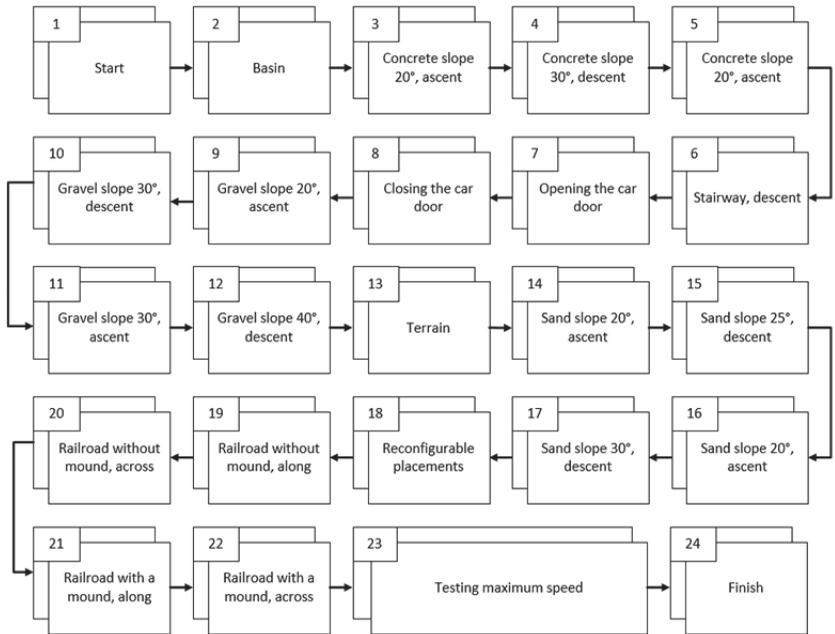


Figure 1 – The order of the obstacles at the preliminary overcoming of the testing ground

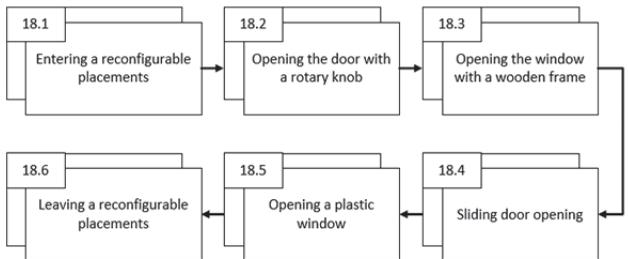


Figure 2 – Expansion of the obstacles sequence for robots with manipulation systems

М.А. Ногин, А.Л. Коротков, О.А. Шмаков
**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРЕОДОЛЕНИЯ
ПРЕПЯТСТВИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА
МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ**

*СПбПУ, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
m.nogin@rtc.ru, a.korotkov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

Для организаций, занимающихся разработкой мобильных робототехнических комплексов различных назначений встает вопрос проведения испытаний их технических характеристик. Для полного понимания того, как мобильная платформа будет функционировать в реальных условиях, необходима длительная эксплуатация роботов в таких условиях. Проведение испытаний в полевых условиях зачастую влечет за собой множествоотягощающих факторов, препятствующих оперативному проведению хода исследований, например, проведение ремонта. Проведение полномерных исследований и получение объективной оценки технических характеристик разрабатываемых платформ требуют наличия методической исследовательской базы.

Помимо методик непосредственного проведения испытаний, необходимо применение методов оценки преодоления препятствий. При правильном применении методик оценки преодоления препятствий может значительно повыситься качество проведения испытаний. Под правильным применением понимается использование оценочных методов в контексте гибкой методики проведения испытаний, которая адаптируется под назначение, предъявляемые требования и действительные возможности испытуемых роботов.

В основе методики проведения испытаний лежит метод качественной оценки, включающий предварительный заезд робота по всем препятствиям испытательного полигона ЦНИИ РТК в порядке, показанном на рисунке 1. Для роботов, оснащенных манипуляционными системами, этот порядок дополняется применением этой системы на этапе прохождения модуля реконфигурируемых помещений (п. 18). Расширение для данного пункта показано на рисунке 2.

На основании назначения испытуемого робота и предъявляемых к нему требований, строятся методики проведения и оценки испытаний. После получения результатов предварительного заезда, на основании предварительной оценки действительных возможностей робота, корректируются методики и, согласно им, проводятся основные испытания.

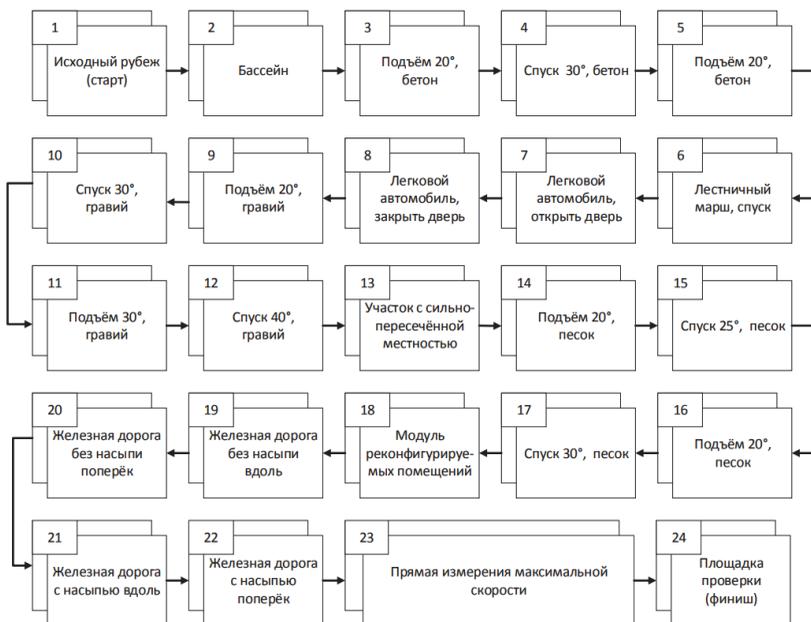


Рисунок 1 – Порядок прохождения препятствий испытательного полигона при предварительном заезде

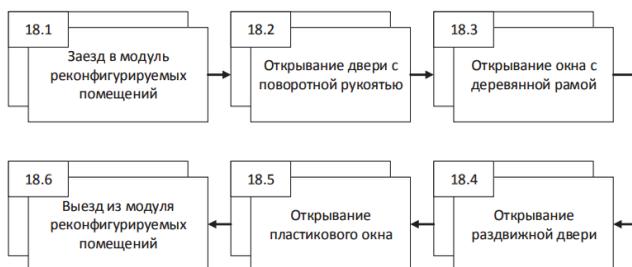


Рисунок 2 – Расширение очередности прохождения испытаний для роботов с манипуляционными системами

A.P. Fedin, Ya.V. Kalinin, E.A. Marchuk
ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER MODELLING
IN MATLAB SIMULINK

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
marocci@bk.ru

Modern robotic systems and ever-improving cars need sophisticated and effective braking systems. A fuzzy ABS regulator of the car is considered, providing adequate control over the entire range of required input and output parameter values.

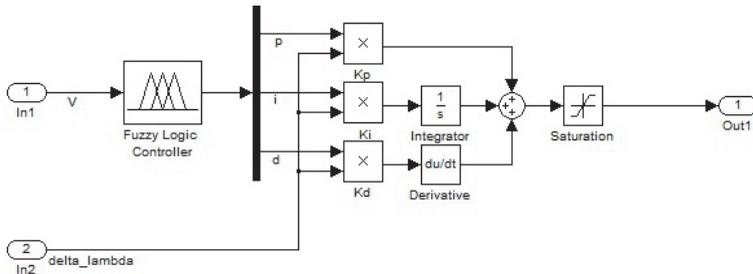


Figure 1 – Model of adaptive fuzzy controller in
MATLAB Simulink

The main objective of the simulation was to minimize the deviation from the specified value of the longitudinal slip by introducing a fuzzy controller into the system. The results of the numerical experiment confirmed the effectiveness of the solution used.

Numerical experiment was performed with the values:

- Initial speed $V = 13.89 \text{ m/s}$ (50 km/h) and 5.56 m/s (20 km/h);
- Wheel radius $r = 0.3 \text{ m}$;
- Mass per wheel $m = 375 \text{ kg}$;
- The moment of inertia of the wheel is $J = 1.4 \text{ kg/m}^2$;
- Maximum braking torque $T_b = 2000 \text{ N}$.
- Pacejka wheel model.

The results shown in Table 1 show that the use of a fuzzy regulator compared to a conventional PID controller leads to a shortening of the time for the appearance of a stable braking process (reduction by 5 times) and reduces the total braking time by half, which is very important with increasing speeds.

Table 1. Results of comparing ABS models with a classical PID controller and an adaptive fuzzy controller

Initial speed, m / s (km / h)	The start time of the braking process, s		The time of the emergence of a sustainable process for longitudinal slippage, s		Overshoot, %		The end of the braking process, s	
	PID	fuzzy	PID	fuzzy	PID	fuzzy	PID	fuzzy
5.56 (20)	0	0	-	0.19	-	0	0.7	0.47
13.89 (50)	0	0	0.98	0.23	0	0	1.46	1.21

The work was supported by the RFBR (grant No. 19-48-340016).

1. Demidova G.L., Lukichev D.V. *Regulyatory na osnove nechetkoy logike v sistemakh upravleniya tekhnicheskimi ob"yektami.* – SPb. Universitet ITMO, 2017.
2. Chernov V.G. *Nechetkiye kontrolyery. Osnovy teorii i postroyeniya.* Vladimir, 2003.
3. Shtovba S. D. *Proyektirovaniye nechetkikh sistem sredstvami MATLAB.* – M. Goryachaya liniya – Telekom, 2007.

А.П. Федин, Я.В. Калинин, Е.А. Марчук
МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО НЕЧЕТКОГО
РЕГУЛЯТОРА В MATLAB SIMULINK

*Волгоградский государственный технический университет,
Волгоград, marocci@bk.ru*

Современные робототехнические системы и всё более совершенствующиеся автомобили нуждаются в совершенных и эффективных системах торможения. Рассматривается нечеткий регулятор АБС автомобиля, обеспечивающий адекватное управление на всем диапазоне требуемых входных и выходных значений параметров.

Основной задачей моделирования была поставлена минимизация отклонения от заданной величины продольного проскальзывания путем введения в систему нечеткого регулятора. Результаты численного эксперимента подтвердили эффективность использованного решения.

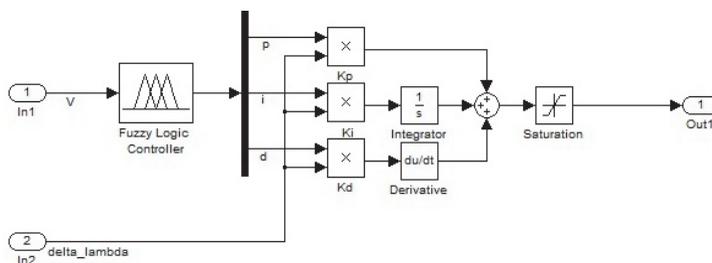


Рисунок 1 – Модель адаптивного нечеткого регулятора
в MATLAB Simulink

Численный эксперимент произведен при значениях:

- Начальная скорость $V = 13.89$ м/с (50 км/ч) и 5.56 м/с (20 км/ч);
- Радиус колеса $r = 0.3$ м;
- Масса на одно колесо $m = 375$ кг;
- Момент инерции колеса $J = 1.4$ кг/м²;
- Максимальный тормозной момент $T_b = 2000$ Н.
- Модель колеса Расејка.

Таблица 1. Результаты сравнения моделей АБС с классическим ПИД-регулятором и адаптивным нечетким регулятором.

Значение начальной скорости, м/с (км/ч)	Время начала процесса торможения, сек		Момент времени появления устойчивого процесса по продольному проскальзыванию, сек		Перерегулирование, %		Время окончания процесса торможения, сек	
	ПИД	fuzzy	ПИД	fuzzy	ПИД	fuzzy	ПИД	fuzzy
5.56 (20)	0	0	-	0.19	-	0	0.7	0.47
13.89 (50)	0	0	0.98	0.23	0	0	1.46	1.21

Результаты, приведённые в таблице 1, показывают, что применение нечёткого регулятора по сравнению с обычным ПИД-регулятором приводит к укорочению времени появления устойчивого процесса торможения (снижение до 5 раз) и вдвое сокращает общее время торможения, что очень важно при повышении скоростей движения современных автомобилей и робототехнических средств.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-48-340016).

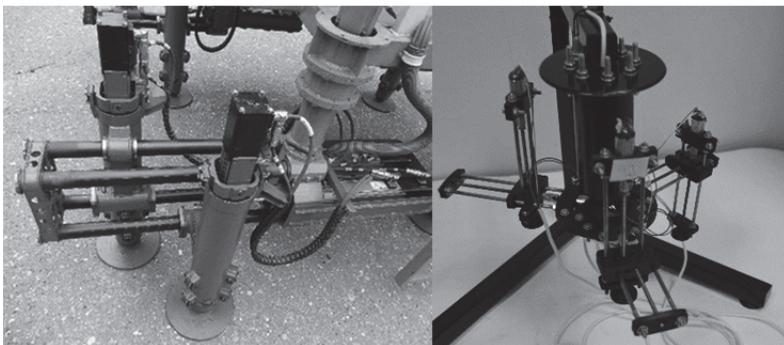
1. Демидова Г.Л., Лукичев Д.В. Регуляторы на основе нечеткой логике в системах управления техническими объектами. – СПб. Университет ИТМО, 2017.
2. Чернов В.Г. Нечеткие контроллеры. Основы теории и построения. Владимир, 2003
3. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М. Горячая линия – Телеком, 2007

2. Briskin, E.S. Reconfigurable transportation complex with doubled walking actuators / E.S. Briskin, N.G. Sharonov, S.S. Fomenko // Izvestiya VolgGTU / VolgGTU. - Volgograd, 2013. - № 24 (127). - С. 10-15.
3. On program motion of doubled orthogonally rotating actuators of waking machines / E.S. Briskin et al. // Aktual'nye problemy zashchity i bezopasnosti : V 6 t. T. 5. Ekstremal'naya robototekhnika / RARAN, NPO spets. materialov. - SPb., 2009. - С. 279-282.
4. Briskin, E.S. On motion control of mechanical system with excessive number of control inputs / E.S. Briskin, N.G. Sharonov // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya. - 2019. - № 3. - С. 48-54.

Н.Г. Шаронов, Г.Ю. Прокудин
**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ
ОРТОГОНАЛЬНО-ПОВОРОТНЫХ ШАГАЮЩИХ
ДВИЖИТЕЛЕЙ**

*Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград
Центр технологий компонентов робототехники и мехатроники,
Университет Иннополис, г. Иннополис
sharonov@vstu.ru*

Рассматривается движитель мобильного робота, состоящий из нескольких идентичных по конструкции механизмов шагания [1], представляющих собой ортогонально расположенные в перпендикулярной раме корпуса плоскости приводы линейных перемещений: привод вертикального перемещения и привод горизонтального перемещения. Приводы горизонтального перемещения закреплены на поворотной направляющей в перпендикулярной оси вращения движителя плоскости. В зависимости от количества и взаимного расположения горизонтальных направляющих можно синтезировать движители с различными свойствами [2, 3]. Возможны варианты, при которых число приводов (управляющих воздействий) превышает количество степеней свободы рассматриваемой механической системы [4].



а) б)
 Рисунок 1 – Ортогонально – поворотный (а) движитель робота «Ортоног» и лабораторная модель роторно - ортогонального (б) шагающего движителя

Приводятся результаты моделирования модульного робота с ортогонально-поворотными движителями с помощью обобщенной расчетной схемы, в том числе ее частные случаи применительно к исследованию сдвоенного ортогонально-поворотного движителя (рис. 1, а) и роторно-ортогонального (рис. 1, б).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Волгоградской области РФ в рамках научного проекта № 18-41-340014 р_а.

1. Development of Rotary Type Movers Discretely Interacting with Supporting Surface and Problems of Control Their Movement / Е.С. Брискин и др. // ROMANSY 21: Springer, 2016. – P. 351-359.
2. Брискин, Е.С. Реконфигурируемый транспортный комплекс со сдвоенными шагающими движителями / Е.С. Брискин, Н.Г. Шаронов, С.С. Фоменко // Известия ВолгГТУ / ВолгГТУ. - Волгоград, 2013. - № 24 (127). - С. 10-15.
3. О программном движении сдвоенных ортогонально-поворотных движителей шагающих машин / Е.С. Брискин и др. // Актуальные проблемы защиты и безопасности : В 6 т. Т. 5. Экстремальная робототехника / РАН, НПО спец. материалов. - СПб., 2009. - С. 279-282.
4. Брискин, Е.С. Об управлении движением механических систем с избыточным числом управляющих воздействий / Е.С. Брискин, Н.Г. Шаронов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. - 2019. - № 3. - С. 48-54.

V.P. Andreev, V.L. Kim
**MODULAR ARCHITECTURE OF A MOBILE ROBOT
TRANSPORT PLATFORM FOR A MOTION TASK
ON A ROUGH TERRAIN**

*MSTU "STANKIN", IINET RSUH, IL "Sensorika", Moscow
andreevvipa@yandex.ru, top7733@gmail.com*

In this paper an issue of mobile robot transport platform (module) design with modular architecture as distributed system is studied. The necessity of transport module's structure decomposition into submodules is due to computational complexity of navigation tasks in case of a mobile robot motion in nondeterministic environments. It is shown that solving of a trajectory tasks using potential fields for motion on perfectly even surface is possible when computational control process is distributed between two microcontrollers of small computational power. The transition to consideration of scenarios in which modular robot operates in an environment with complex terrain causes the complication of navigation algorithms. To implement these algorithms in real time, it is proposed to consider the transport module as a modular architecture which should include unified nodes-submodules. A set of these submodules will allow rapid reconfiguration of a transport module structure in accordance with the desired goal.

Research is supported by the Russian Foundation for Basic Research: Grant 19-07-00892a.

1. Andreev V.P. Network-based design of heterogeneous modular mobile robotic systems / Andreev V.P., Kim V.L., Poduraev Yu.V. // Robotics and technical cybernetics. – Saint-Petersburg: Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), 2016. – №3(12). – P. 23-29.
2. Andreev V.P. Hardware & software solution for rapid reconfiguration of heterogeneous robots / Andreev V.P., Kim V.L., Pletenev P.F. // Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. – M.: Publishing house «New technologies», ISSN: 1684-6427. – 2018. – №6, Vol. 19. – P.387-395. DOI: 10.17587/mau.19.387-395.
3. Pletenev P.F. etc. 1/ PMMV - Protokol vzaimodeystviya v geterogennom modulnom mobilnom robote. URL: https://asmfreak.github.io/modular_robots_rfc/1/PIMMB/ (access data: 27.04.2019).
4. Andreev V.P., Kim V.L. motion control method for modular mobile robot using two-dimensional vector fields // Robotics and technical cybernetics. – Saint-Petersburg: Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), ISSN 2310-5305. – 2017. – №4(17). – P. 22-27.

5. Astrom K.J., Murray R.M. Feedback systems: an introduction for scientists and engineers – New Jersey: Princeton University Press, 2008. – 396 P.
6. Andreev V.P., Pletenev P.F. Method of information interaction for distributed control systems of robots with modular architecture // Tr. SPIIRAN. ISSN 2078-9181 (печ.), ISSN 2078-9599 (онлайн). – Saint-Petersburg: SPIIRAN. – 2018. – №2(57). – P.134-160.
7. ASEBA: a modular architecture for event-based control of complex robots / S. Magnenat, P. Retornaz, M. Bonani, V. Longchamp, F. Mondada // IEEE/ASME Transactions on mechatronics. – 2011. – Vol. 16, №2. – P. 321-329.
8. Taira T. Design and implementation of reconfigurable modular humanoid robot architecture / Taira T., Kamata N., Yamasaki N. // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – Edmonton, 2005. – P. 3566-3571.
9. Попов Ye.P. Pismennyy G.V. Osnovy robototekhniki: vvedeniye v spetsialnost. - М.: Vysshaya shkola, 1990.– 224 P.

В.П. Андреев, В.Л. Ким

**МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ТРАНСПОРТНОЙ
ПЛАТФОРМЫ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ ДВИЖЕНИЯ ПО СЛОЖНОМУ РЕЛЬЕФУ**

*МГТУ «СТАНКИН», МИНОТ РГТУ, МЛ «Сенсорика», Москва
andreevvipa@yandex.ru, top7733@gmail.com*

В работе исследуется вопрос построения транспортной платформы (модуля) мобильного робота с модульной архитектурой как распределённой системы. Необходимость в разбиении структуры транспортного модуля на подмодули вызвана вычислительной сложностью задач навигации при движении мобильного робота в недетерминированных средах. Показано, что решение траекторных задач с помощью потенциальных полей при перемещении по идеально ровным поверхностям возможно при распределении вычислительного процесса управления между двумя микроконтроллерами небольшой вычислительной мощности. Переход к рассмотрению сценариев, в которых модульный мобильный робот функционирует в среде со сложным рельефом, обуславливает усложнение алгоритмов навигации. Для реализации этих алгоритмов в реальном времени предлагается рассмотреть транспортный модуль как модульную архитектуру, в состав которой должны входить унифицированные узлы-субмодули. Набор этих субмодулей позволит оперативно изменять конфигурацию транспортной платформы в соответствии с поставленной целью.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ: грант 19-07-00892а.

1. Андреев В. П. Сетевые решения в архитектуре гетерогенных модульных мобильных роботов / Андреев В. П., Ким В. Л., Подураев Ю. В. // Робототехника и техническая кибернетика. – Санкт-Петербург: Изд-во «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики», 2016. – №3(12). – С. 23-29.
2. Андреев В.П. Программно-аппаратное решение оперативного реконfigurирования гетерогенных роботов / Андреев В.П., Ким В.Л., Плетенев П.Ф. // Мехатроника, Автоматизация, Управление. – М.: Изд-во «Новые технологии», ISSN: 1684-6427. – 2018. – №6, Том 19. – С.387-395. DOI: 10.17587/mau.19.387-395.
3. Плетенев П.Ф. и др. 1/ПММВ – Протокол взаимодействия в гетерогенном модульном мобильном роботе. URL: https://asmfreak.github.io/modular_robots_rfc/1/ПММВ/ (дата обращения: 27.04.2019).
4. Андреев В.П., Ким В.Л. Метод управления движением модульного мобильного робота с использованием двумерных векторных полей // Робототехника и техническая кибернетика. ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург. ISSN 2310-5305. – 2017. – №4(17). – С. 22-27.
5. Astrom K.J., Murray R.M. Feedback systems: an introduction for scientists and engineers – New Jersey: Princeton University Press, 2008. – 396 с.
6. Андреев В.П., Плетенев П.Ф. Метод информационного взаимодействия для систем распределённого управления в роботах с модульной архитектурой. Труды СПИИРАН. ISSN 2078-9181 (печ.), ISSN 2078-9599 (онлайн). – Санкт-Петербург: СПИИРАН. – 2018. – №2(57). – С.134-160.
7. ASEBA: a modular architecture for event-based control of complex robots / S. Magnenat, P. Retornaz, M. Bonani, V. Longchamp, F. Mondada // IEEE/ASME Transactions on mechatronics. – 2011. – Vol. 16, №2. – P. 321-329.
8. Taira T. Design and implementation of reconfigurable modular humanoid robot architecture / Taira T., Kamata N., Yamasaki N. // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – Edmonton, 2005. – P. 3566-3571.
9. Попов Е.П. Письменный Г.В. Основы робототехники: введение в специальность. – М.: Высшая школа, 1990. – 224 с.

A.A. Vlasenko, A.L. Korotkov, O.A. Shmakov
**MODULAR MANIPULATION DEVICE WITH REMOVABLE
OPERATIONAL EQUIPMENT**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
a.vlasenko@rtc.ru, a.korotkov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

Mobile robotic systems (RS) are used for various tasks, including the search and inspection of objects that can be dangerous to human life and health.

Existing manipulators for mobile RS weighing from 5 to 15 kg have limited functionality, consisting, as a rule, in moving objects via a gripping device, which can optionally be equipped with a surveillance camera.

The use of tool modules on the manipulator is promising, as it expands its functionality. The tool may be placed in the gripping device, but this excludes the possibility of its rapid change or the possibility of the object capturing by the manipulator. In addition, it is possible to use a complex gripping device that combines several tools and a sponge for gripping objects, which will provide greater functionality, however, the considerable mass of such a module increases the requirements for the manipulation device itself. It is also possible to use removable tool modules located in special storage on a mobile robotic platform. This option is optimal because it does not complicate the design of the gripping device and allows you to get the required tool only when necessary.

The possibility of using tool modules imposes certain requirements on the development of the manipulation and gripping device. In the design of the gripping device, it is necessary to provide an existing of the mounting place for the tool module. The tool module is necessary not only to be fixed but also to be provided power. To ensure the efficiency of the module, special connectors for power supply and control interface should be in the mounting place. During the motor design and selecting, it is necessary to take into account the effects that the tool module has on the manipulator and gripping device in order to ensure the full operation of the RS. The geometrical dimensions of the links and motors, as well as the working stroke of the motors, must ensure that the manipulator's working area is such that the tool storage is located in it, and the degrees of the manipulator mobility is sufficient to capture and retrieve the tool module.

The article reviews and analyzes the existing manipulation and gripping devices for the development of the kinematic scheme and design. The technological operations performed by the removable tool modules are determined: drilling, cutting the cable, loosening the screw or nut. To study the possible loads on the links and joints of the manipulator, the simulation of movement and the execution of the drilling operation is carried out as the

most loaded. Based on the data obtained, selection of motors, materials and geometric dimensions of the elements of the manipulator is carried out.

The proposed manipulator can be used at various RS that satisfy the design requirements for installation formulated in the article. Removable tool modules will significantly expand the functionality of the RS, and equipment replacing without additional intervention will significantly reduce the time to complete tasks.

А.А. Власенко, А.Л. Коротков, О.А. Шмаков
**МОДУЛЬНОЕ МАНИПУЛЯЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО СО
СМЕННЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
a.vlasenko@rtc.ru, a.korotkov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru

Мобильные робототехнические комплексы (РТК) используются для различных задач, в том числе для поиска и инспекции объектов, способных представлять угрозу для жизни и здоровья человека.

Существующие манипуляторы для мобильных РТК массой от 5 кг до 15 кг имеют ограниченные функциональные возможности, заключающиеся, как правило, в перемещении объектов с помощью захватного устройства, которое опционально может оснащаться камерой видеонаблюдения.

Использование инструментальных модулей на манипуляторе перспективно, так как расширяет его функциональные возможности. Инструмент возможно располагать сразу в захватном устройстве, но это исключает возможность его оперативной смены или возможности захвата объектов манипулятором. Кроме того, возможно использование сложного захватного устройства совмещающего в себе несколько инструментов и губки для захвата объектов, что обеспечит большие функциональные возможности, однако значительная масса такого модуля увеличивает требования к самому манипуляционному устройству. Также возможно использование сменных инструментальных модулей, расположенных в специальном хранилище на мобильной робототехнической платформе. Данный вариант наиболее оптимален, поскольку не усложняет конструкцию захватного устройства и позволяет доставать нужный инструмент только по необходимости.

Возможность использования инструментальных модулей накладывает определенные требования на разработку манипуляционного и захватного устройств. В разработке конструкции захватного устройства необходимо предусмотреть посадочное место для инструментального модуля. Инструментальный модуль необходимо не только фиксировать, но и обеспечить электропитанием,

и управлять его работой. Для обеспечения работоспособности модуля, в посадочном месте необходимо предусмотреть специальные разъемы для подведения электропитания и управляющего интерфейса. При проектировании и подборе приводов необходимо учесть воздействия, которые инструментальный модуль оказывает на манипулятор и захватное устройство, чтобы обеспечить полноценную работу комплекса. Геометрические размеры звеньев и приводов, а также рабочий ход приводов должны обеспечивать такую рабочую зону манипулятора, чтобы хранилище инструментов располагалось в ней, и степеней подвижности манипулятора было достаточно для захвата и извлечения инструментального модуля.

В статье проводится обзор и анализ существующих манипуляционных и захватных устройств для разработки кинематической схемы и конструкции. Определяются технологические операции, совершаемые сменными инструментальными модулями: сверление, перекусывание провода, откручивание винта или гайки. Для исследования возможных нагрузок на звенья и шарниры манипулятора проводится симуляция движения и выполнения технологической операции «Сверление», как наиболее нагруженной. На основе полученных данных осуществляется подбор приводов, материалов и геометрических размеров элементов конструкции манипулятора.

Предлагаемый манипулятор может использоваться на различных РТК, удовлетворяющих конструктивным требованиям по установке, сформулированным в статье. Сменные инструментальные модули позволят значительно расширить функциональные возможности РТК, а замена оборудования без дополнительного вмешательства существенно сократит время выполнения задач.

M.V. Miroshkina, E.C. Briskin, V.A. Serov, S.A. Ustinov
**ABOUT ENERGETICALLY EFFICIENT MODES OF THE
WALKING ROBOTS MOVEMENT AT ITS DISPLACEMENT
ALONG A SURFACE WITH OBSTACLES**

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
mariatiminen@yandex.ru

Mobile robots with walking movers have the ability to contactlessly overcome obstacles, which is one of the characteristic features of such machines [1]. The view of the trajectory of the moving walking propulsion, shown in Figure 1, is explained by the need to organize the interaction of the stop movers with the supporting surface without horizontal slipping along it in the absence of information about its profile. But with such information about the support surface, you can change the law of transfer of the foot. The combinations of these indicators can determine the boundaries of the Pareto-optimal traffic regimes for quality indicators.

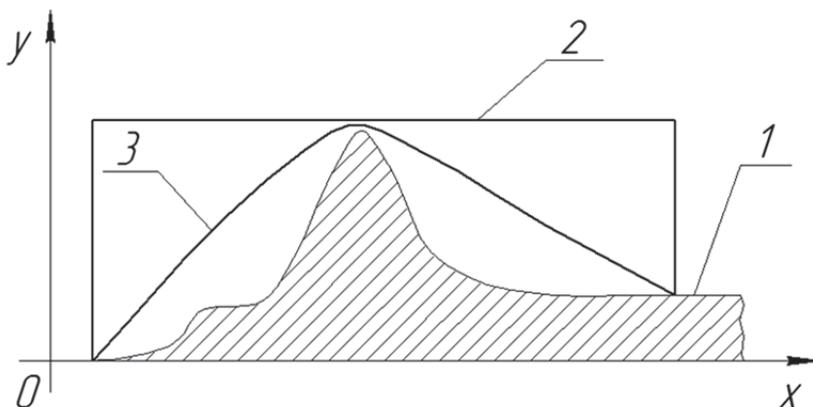


Figure 1 – Trajectory of transfer of robot foot
1 – absolute trajectory according to N.V. Umnov; 2 – possible trajectory;
3 – profile of the support surface

A mathematical model has been developed that allows to conduct a fairly large set of research, to determine the effect of the physical and mechanical properties of the soil, the external geometric characteristics of the reference surface and the parameters characterizing the movement of the robot on the quality indicators.

An integral indicator has been formulated that characterizes the quality of the laws of robot foot transfer in terms of the minimum of unproductive thermal losses in drive engines.

The dependences of the level of heat losses on the velocity of the center of mass of the body of the robot with different resistance forces has been received, a characteristic feature of which is the presence of modes that provide a minimum of thermal loss.

1. Okhotsimskiy DE Mekhanika i upravlenie dvizheniem avtomaticheskogo shagayushchego apparata [Mechanics and Control of Automatic Walking Machine Movement]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 312 p.
2. Ob energeticheskoy effektivnosti tsiklovyykh mekhanizmov [On the energy efficiency of cyclic mechanisms] 2014 ES Briskin, YV Kalinin et al Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela [Mechanics of Solids] no 1 pp 18-25.

М.В. Мирошкина, Е.С. Брискин, В.А. Серов, С.А. Устинов
ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМАХ
ДВИЖЕНИЯ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ
ПО ПОВЕРХНОСТИ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

*Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, mariatiminen@yandex.ru*

Мобильные роботы с шагающими движителями обладают возможностью бесконтактного преодоления препятствий, что является одной из характерных особенностей таких машин [1]. Вид траектории переноса шагающего движителя, представленный на рисунке 1, объясняется необходимостью организовывать взаимодействие стоп движителей с опорной поверхностью без горизонтального проскальзывания по ней в отсутствие информации о ее профиле. Но при наличии такой информации об опорной поверхности можно изменить закон переноса стопы. По сочетаниям данных показателей могут быть определены границы Парето-оптимальных режимов движения для показателей качества.

Разработана математическая модель, позволяющая проводить достаточно большой комплекс исследований, определять влияние физико-механические свойств грунта, внешних геометрических характеристик опорной поверхности и параметров, характеризующих движение робота, на показатели качества.

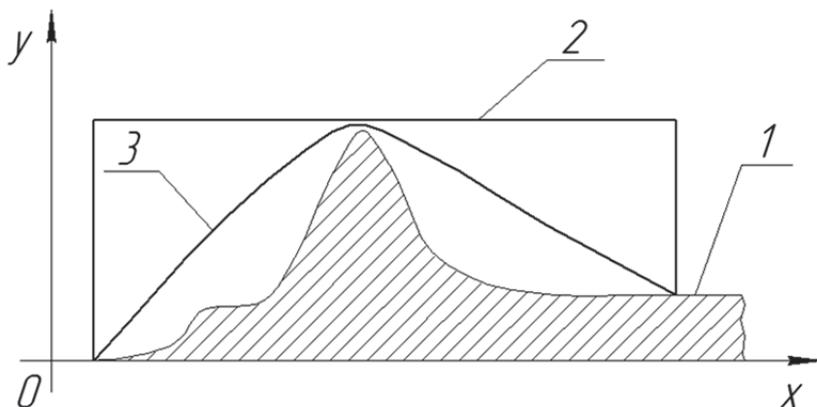


Рисунок 1 – Траектория переноса стопы движителя
 1 – абсолютная траектория по Н.В. Умнову; 2 – возможная траектория;
 3 – профиль опорной поверхности.

Сформулирован интегральный показатель, характеризующий качество законов переноса стопы с точки зрения минимума непроизводительных тепловых потерь в приводных двигателях.

Получены зависимости уровня тепловых потерь от скорости движения центра масс корпуса робота при различных силах сопротивления, характерной особенностью которых является наличие режимов, обеспечивающих минимум тепловых потерь.

1. Охоцимский, Д.Е. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата / Д.Е. Охоцимский, Ю.Ф. Голубев // М.: Наука. 1984. 312 с.
2. Брискин Е.С., Калинин Я.В., Малолетов А.В., Чернышев В.В. Об энергетической эффективности цикловых механизмов. Известия РАН. Механика твердого тела. 2014. №1. С. 18-25.

*A.M. Korsakov, D.A. Gromoshinsky,
E. Yu. Smirnova, D.N. Stepanov*
**BUILDING A SPATIAL MODEL OF AN OBJECT USING
A POINT CLOUD IN MANIPULATOR
CONTROL PROBLEMS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
a.korsakov@rtc.ru*

One of the most difficult operations in robotics are contact operations, when the effector of the robot (gripping device, various kinds of loaders and other technological equipment) is in direct contact with objects of the external environment. Such an opportunity requires knowing the geometrical parameters of these objects. The article discusses approaches to the formation of a geometric representation of the working area of the robot, which are formed by processing television pictures. The camera is installed directly on the robot effector and the frames obtained in this way, after appropriate processing, allow not only to receive a three-dimensional map of the working area, but also to recognize the geometry of some objects that are in front of the robot. Such an approach allows not only to classify objects according to their configuration, but also to understand whether it is possible to perform the required actions with them.

To determine the three-dimensional coordinates of the object using a television camera, two or more pictures of the working area are taken in different positions of the manipulator. Next is the reconstruction of the working area and obtaining a digital model of the object. Thus obtained three-dimensional coordinates are used to solve the inverse problem of kinematics, and control the modes of motion of the executive body of the manipulator. To improve the accuracy of reconstruction, the authors proposed an algorithm for approximating a cloud of points by a spatial surface using the method of splitting into transverse segments.

These methods select and determine the position of objects by point clouds. Two problems are solved in identifying an object by a point cloud and determining its position:

- 1) three-dimensional segmentation of an object by a point cloud;
- 2) determining the position of an object in space by describing its spatial surface (plane, cylinder, ball, truncated cone, etc.).

A point cloud is sent to the input containing the three-dimensional coordinates of the observed points of the scene, obtained by means of a stereo pair. As a result, an analytical description of a three-dimensional body is obtained, approximating a segmented object of interest.

Approximation of a point cloud by a rotation figure is possible using the least squares method [1], however, this article proposes an approach for approximating a point cloud using the method of splitting into transverse segments.

When approximating a cloud of points by the method of splitting into transverse segments, the following subproblems are successively solved:

- Formation of transverse segments of the zone of interest.
- Segmentation of points of interest by z-coordinate.
- Calculate the center and radius of the circle describing each transverse segment.
- Construction of the central axis of the figure of rotation.
- Calculate the radius of the rotation figure.

The article presents the results of field experiments by approximation of a point cloud by a plane, cylinder, truncated cone and sphere.

Justified that any rotation figure can be described if we know the formula defining the boundary that forms the surface, as well as figures that are not rotation figures (for example, a parallelepiped). Perhaps a spatial description and more complex shapes with a priori knowledge of their geometry.

The main advantage of the proposed method is its resistance to measurement errors (including objective ones, for example, blocking of objects), as well as greater flexibility in approximating objects of various configurations with spatial figures.

*А.М. Корсаков, Д.А. Громошинский,
Е.Ю. Смирнова, Д.Н. Степанов*
**ПОСТРОЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА
ПО ОБЛАКУ ТОЧЕК В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ
МАНИПУЛЯТОРОМ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
a.korsakov@rtc.ru*

Одними из самых сложных операций в робототехнике являются контактные операции, когда эффектор робота (захватное устройство, различного рода погрузчики и другое технологическое оборудование) непосредственно контактирует с объектами внешней среды. Для такой возможности требуется знать геометрические параметры этих объектов. В статье рассматриваются подходы к формированию геометрического представления о рабочей зоне робота, формируемые посредством обработки телевизионной картинки. Телекамера устанавливается непосредственно на эффекторе робота и полученные таким образом кадры, после соответствующей обработки, позволяют не только получать трёхмерную карту рабочей зоны, но и распознавать геометрию некоторых объектов, находящиеся перед роботом. Такой подход позволяет производить не только классификацию объектов по их конфигурации, но и понимать, возможно ли с ними производить требующиеся действия (например, для операции захвата объекта, требуется знать размер, чтобы захватное устройство робота открылось на требующуюся величину).

Для определения трехмерных координат объекта с помощью телевизионной камеры производится два или несколько снимков рабочей зоны в различных положениях манипулятора. Далее производится реконструкция рабочей зоны и получение цифровой модели объекта. Полученные таким образом трехмерные координаты используются для решения обратной задачи кинематики, и управления режимами движения исполнительного органа манипулятора. Для повышения точности реконструкции авторами предложен алгоритм аппроксимации облака точек пространственной поверхностью методом разбиения на поперечные отрезки.

Решаются две задачи по выделению объекта по облаку точек и определению его положения:

- 1) трёхмерная сегментация объекта по облаку точек;
- 2) определение положения объекта в пространстве при помощи описания его пространственной поверхностью (плоскостью, цилиндром, шаром, усечённым конусом и т.д.).

На вход подаётся облако точек, содержащее трёхмерные координаты наблюдаемых точек сцены, полученные посредством стереопары. В результате выдаётся аналитическое описание трёхмерного тела, аппроксимирующего сегментированный объект интереса.

Аппроксимация облака точек фигурой вращения возможна с использованием МНК [1][2], однако в данной статье предлагается подход аппроксимации облака точек методом разбиения на поперечные отрезки.

При аппроксимации облака точек методом разбиения на поперечные отрезки последовательно решаются следующие подзадачи:

- Формирование поперечных отрезков зоны интереса.
- Сегментация точек зоны интереса по z -координате.
- Вычисление центра и радиуса окружности, описывающей каждый поперечный отрезок.
- Построение центральной оси фигуры вращения.
- Вычисление радиуса фигуры вращения.

В статье приведены результаты натуральных экспериментов при аппроксимации объекта плоскостью, цилиндром, усечённым конусом и шаром.

Обосновано, что аналогичным образом можно описать любую фигуру вращения, если нам известна формула, задающая границу, которая образует поверхность, а также фигуры, не являющиеся фигурами вращения (например, параллелепипед). Возможно пространственное описание и более сложных фигур при априорном знании об их геометрии.

Основным преимуществом предлагаемого метода является его устойчивость к ошибкам измерения (в том числе объективным – например, перегораживанию объектов), а также большая гибкость при аппроксимации объектов различной конфигурации пространственными фигурами.

*L.Yu. Vorochaeva¹, A.S. Yatsun¹,
S.I. Savin², A.V. Repkin¹*

GAITS OF A SEARCH TWO-LINK CRAWLING ROBOT

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia, mila180888@yandex.ru*

² *Innopolis University, Innopolis, Russia*

In today's world, with increasing frequency, in the event of natural and man-inflicted disasters, snake-like robots are used to conduct rescue, search and reconnaissance operations in completely or partially destroyed buildings owing to their higher maneuverability and terrain crossing capacity over a non-deterministic surface in the presence of obstacles, as well as the ability to penetrate through narrow restricted spaces [1].

In the present paper, we will consider a two-link crawling robot whose links 1 and 2 are interconnected by a rotating hinge O_2 (Fig. 1, a). The links of the robot will be envisaged in the form of absolutely solid rods, at the ends of the links - at the points O_i , $i=1-3$, - are arranged supports with controlled friction [2], which allow for the increase of the coefficient of friction between the support element of the robot and the surface for fixing the link on the latter and reduce it to move the link by changing the supporting elements.

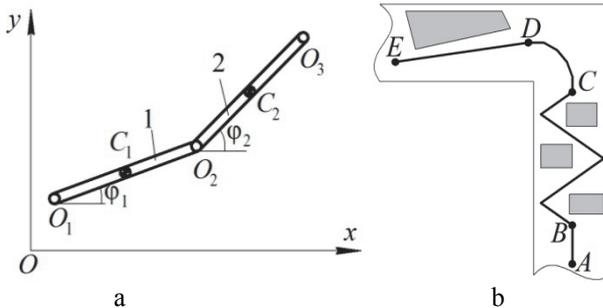


Figure 1 – a – Computational scheme of a two-link crawling robot,
b – Movement of the crawling robot along the corridor

The gaits implemented by this robot can be classified depending on the presence or absence of the friction control in the supports, as shown in Fig. 2, into three types: inertial, combined and controlled. Inertial gaits are observed in the absence of the friction control in the supporting elements [3]. Combined gaits are possible with a combination of stages, during which inertial movements occur, with stages that are possible with the management of friction in supports. Controlled gaits are carried out only if there is friction control in the supports.

The application of the gaits given in the classification in Fig. 2 allows the crawling robot to move in limited spaces in the presence of obstacles.

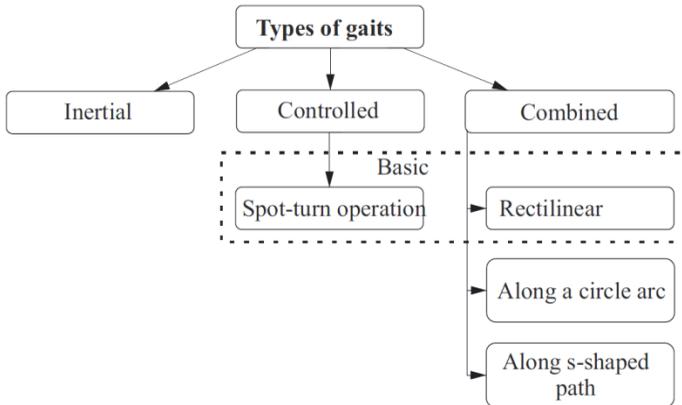


Figure 2 – Gait classification of the two-link crawling robot

In Fig. 1, b is given an example of surpassing the corridor by a robot, the obstacles are painted gray. The trajectory is divided into four sections: *A-B* – rectilinear motion, *B-C* – motion along the s-shaped path to avoid obstacles, *C-D* – motion along the arc of the circle to overcome a turn, *D-E* – rectilinear motion while by-passing obstacles. It should be noted that at the points *A-E* of connecting the sections of movement, the robot performs spot-turn operation for positioning on each of the sections of the trajectory.

The work was carried out within the framework of the Presidential Grant MK-200.2019.1.

1. Conkur E.S., Gurbuz R. Path Planning Algorithm For Snake-Like Robots // Information Technology and Control. – 2008. – Vol. 37. – № 2. – P. 159-162.
2. Vorochaeva L.Yu., Naumov G.S., Yatsun S.F. Simulation of Motion of a Three-Link Robot with Controlled Friction Forces on a Horizontal Rough Surface // J. of Computer and Systems Sciences International. – 2015. – Vol. 54. – № 1. – P. 151–164.
3. Chernousko F.L. Upravlyayemye dvizheniya dvuzvennika po gorizontальной ploskosti // PMM. – 2001. – Vol. 65. – № 4. – P. 578-591.

этапами, возможными при управлении трением в опорах. Управляемые походки осуществляются только при наличии управления трением в опорах.

Использование приведенных в классификации рис. 2 походок позволяет ползающему роботу перемещаться в пространствах ограниченного объема при наличии препятствий.



Рисунок 2 – Классификация походок двухзвенного ползающего робота

На рис. 1, б приведен пример преодоления роботом коридора, препятствия закрашены серым цветом. Траектория движения разбита на четыре участка: $A-B$ – прямолинейное движение, $B-C$ – движение по s -образной траектории для обхода препятствий, $C-D$ – движение по дуге окружности для преодоления поворота, $D-E$ – прямолинейное движение при обходе препятствия. Следует отметить, что в точках $A-E$ соединения участков движения будут наблюдаться повороты робота на месте для позиционирования на каждом участке траектории.

Работа выполнена в рамках Гранта Президента, номер заявки МК-200.2019.1.

1. Conkur E.S., Gurbuz R. Path Planning Algorithm For Snake-Like Robots // Information Technology and Control. – 2008. – Vol. 37. – № 2. – P. 159-162.
2. Vorochaeva L.Yu., Naumov G.S., Yatsun S.F. Simulation of Motion of a Three-Link Robot with Controlled Friction Forces on a Horizontal Rough Surface // J. of Computer and Systems Sciences International. – 2015. – Vol. 54. – № 1. – P. 151–164.
3. Черноусько Ф.Л. Управляемые движения двузвенника по горизонтальной плоскости // ПММ. – 2001. – Т.65. – Вып. 4. – С. 578-591.

*V.V. Epaneshnikova, P.V. Koroletskiy, V.E. Pryanechnikov,
E.A. Prysev, O.V. Punenkov*
**DESIGNING A WRONG-FREE COATING WIRELESS NETWORK
ENSURING THE SERVICE ROBOT MANAGEMENT**

*KIAM Russian Academy of Sciences, IINET, STANKIN, Moscow,
v.e.pr@yandex.ru*

In the design of supervisory control of robots in extreme operations, it is permissible to use wireless Wi-Fi (for example, we have implemented the transmission of multi-stream video for emergency robots Brokk-series). However, in this case, there are two problems – it is necessary to predict the signal attenuation at the exit from the zone of stable reception and to switch control to the automatic return algorithm. Previously, we have tested a number of ways to measure the quality of communication, and in this paper we proposed a computational approach for the preliminary assessment and visualization of the Wi-Fi coverage field for the service robot working area. An experimental study of this method was carried out in the robotarium (IINET-KIAM), consisting of a set of rooms in which the service robots Amur-307, Amur-105, Robotina are controlled. To do this, it was necessary to find the location of access points and methods of communication when working through a wireless LAN.

To control the service robots, seamless roaming technology (handover) – providing Wi-Fi coverage, was implemented, in which, if there are several access points, stations (customers), moving between their coverage areas, can switch from one point to another without losing the signal. When designing a seamless wireless network, one of the most important conditions affecting the quality of the network infrastructure built in is the determination of the attenuation degree of the wireless signal. With the help of specialized software, a predictive survey was conducted of this part of the building. The types of walls and the actual scale of the plan were indicated, as well as inconsistencies in the arrangement of some structures were corrected and the coating was modeled. Existing D-Link access points participated in the coverage modeling. Based on the amount of equipment, the optimum location is determined in terms of covering the most important signal propagation zones. The existing wired infrastructure was also taken into account to minimize installation costs. To reduce the level of interference, it was decided to use non-overlapping channels (1, 6, 11) at 2.4 GHz. Implementation of the project to cover the premises with uninterrupted Wi-Fi signal coverage will allow not only to manage the service robot, but also, depending on the equipment chosen, to create an infrastructure that allows solving other customer tasks, such as creating a public Wi-Fi network for visitors without the need to develop additional projects/equipment.

***В.В. Епанешникова, П.В. Королецкий, В.Е. Пряничников,
Е.А. Прысев, О.В. Пуненков***
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПОКРЫТИЯ
БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ УПРАВЛЕНИЕ
СЕРВИСНЫМ РОБОТОМ**

ИПМ им.Келдыша РАН, МИНОТ, МГТУ"Станкин", v.e.pr@yandex.ru

При построении супервизорного управления роботами даже в экстремальных условиях допустимо применение беспроводной связи Wi-Fi (например, нами была реализована передача многопоточкового видео для роботов МЧС серии Брокк). Однако, в этом случае возникают две проблемы – необходимо предсказать ослабление сигнала при выходе из зоны устойчивого приёма и обеспечить переключение управления на алгоритм автоматического возврата. Ранее нами был апробирован ряд способов оценки качества связи, а в этой работе предложен расчетный подход для предварительной оценки и визуализации поля Wi-Fi покрытия рабочей зоны сервисного робота. Экспериментальное исследование этого метода проводилось в роботариуме (МИНОТ-ИПМ), состоящим из множества помещений, в которых осуществляется управление сервисными роботами Амур-307, Амур-105, Роботино.

Была реализована технология бесшовного роуминга (handover) – обеспечение Wi-Fi покрытия, в котором при наличии нескольких точек доступа станции (клиенты), перемещаясь между зонами покрытия, могут переключаться с одной точки на другую без потери сигнала. При проектировании такой бесшовной беспроводной сети стоит учитывать одно из самых главных условий, влияющих на качество построенной сетевой инфраструктуры – определение степени затухания беспроводного сигнала. При помощи специализированного ПО было проведено предиктивное обследование части здания. Были указаны типы стен и фактический масштаб плана, а также исправлены несоответствия в расположении некоторых конструкций и проведено моделирование покрытия. В макетировании покрытия задействовали имеющиеся точки доступа D-Link DWL-3200AP для которых и определили их оптимальное расположение с точки зрения покрытия наиболее важных зон распространения сигнала, с учетом существующей проводной инфраструктуры. Для снижения уровня интерференции, было принято решение использовать непересекающиеся каналы (1, 6, 11) на частоте 2,4 ГГц. Реализация проекта покрытия помещений бесперебойным покрытием сигнала Wi-Fi позволила не только управлять сервисным роботом, но и создать инфраструктуру публичной сети Wi-Fi для посетителей без необходимости перенастройки.

A.S. Kreusova, A.N. Yusupov
**THE DEVELOPMENT OF A DISCRETE MODEL
OF MECHATRONIC MODULE**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
a.kreusova@rtc.ru, a.n.yusupov@gmail.com*

A full-fledged experiment it is often not possible to conduct during robot development. To provide an opportunity to conduct experiment, find a bug or debug software, the goal was to develop a discrete model of the manipulator, including its most important component –the mechatronic module.

Problem could be solved using the mechatronic module discrete model:

- Test and debug control software for mechatronic module
- Test the control system with variation of motor parameters and the environment in a wide range
- Emergency situation simulation
- Modeling, explanation and systematization of emergency situations
- Capitalization of knowledge and technology.
- Automated search for dangerous conditions

The mechatronic module consists of a DC motor (DCM), planetary and wave gears, an elastic shaft and a torque sensor. In addition, the mechatronic module contains a number of nonlinear elements – nonlinear electromagnetic effects in the engine, distributed friction in the engine and in the wave gear.

The developed mathematical model of friction contains a hypothetical minimum speed at which the mechanism can continue proper motion. This hypothesis is based on the assumption that at some low speed the kinetic energy is not enough to overcome the next "potential pit" and the kinetic energy is either immediately dissipated into heat or passes into the energy of damped elastic oscillations, which can be observed when stopping various mechanisms.

The structure of the mechatronic module includes an elastic link – wave gear. We suspect that the dynamic equilibrium (redistribution of forces) in the system of elasticity is established faster than the period of integration of the discrete model (50 μ s) and the whole system behaves as a second-order system from an external observer point of view ("load on a spring").

After research made, we stopped at the model of mechatronic module, which conditionally divides it into two units so that the links of elements in the composition of each node are relatively rigid. The first unit includes the model DCM, planetary gear and wave generator, the second unit – the

driven part of the wave gear and the shaft between the wave gear and the torque sensor. Each of the units has its own friction model and reduced moment of inertia.

Discrete model functionality depends on a set of modes, produced by the state of nonlinear elements. Each unit of the mechatronic module model can be in one of the states:

- 1) State of rest - the static friction force keeps the node in a stationary state
- 2) The state of "breakaway" - the node comes into motion, but static friction force still exists
- 3) The node is in motion and a typical model of dry and viscous friction exists

To verify the simulation model, an experiment was carried out in which the same input signal was applied to the real mechatronic module and to the simulation model. We gave a triangular signal to the input (see Fig. 1). The simulation model and the real module worked out the position and speed on the output shaft of the wave gear with negligible error.

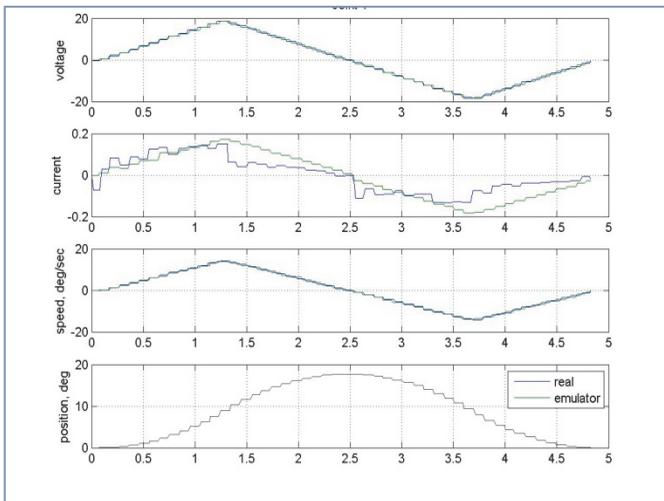


Figure 1 – comparison of the simulation model with the real mechatronic module

А.С. Креусова, А.Н. Юсупов
**РАЗРАБОТКА ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ МЕХАТРОННОГО
МОДУЛЯ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
a.kreusova@rtc.ru, a.n.yusupov@gmail.com*

При разработке робота, часто отсутствует возможность провести полноценный эксперимент с манипулятором. Для постановки вычислительных экспериментов и отладки программного обеспечения (ПО), нами была поставлена цель разработать дискретную модель робота-манипулятора, в том числе наиболее важной его составляющей – дискретной модели мехатронного модуля.

Задачи, которые должна решить дискретная модель мехатронного модуля:

- Тестирование и отладка ПО управления мехатронным модулем
- Испытание системы управления при вариации параметров привода и окружающей среды в широком диапазоне
- Моделирование аварийных ситуаций
- Моделирование, объяснение и систематизация нештатных ситуаций
- Капитализация знаний и технологий.
- Автоматизированный поиск опасных состояний

В состав мехатронного модуля входят двигатель постоянного тока (ДПТ), планетарный и волновой редуктор, упругий вал и датчик момента. Кроме этого мехатронный модуль содержит в себе ряд нелинейных элементов – это нелинейные электромагнитные эффекты в двигателе, распределённое трение в двигателе и в волновом редукторе.

Разработанная математическая модель трения содержит гипотетическую минимальную скорость, с которой механизм может продолжать собственное движение. Эта гипотеза основана на предположении, что при некоторой малой скорости кинетической энергии не хватает для того, чтобы преодолеть очередную «потенциальную яму» и кинетическая энергия либо сразу рассеивается в тепло, либо переходит в энергию затухающих упругих колебаний, что можно наблюдать при остановке различных механизмов.

В состав мехатронного модуля входит упругое звено – волновой редуктор. Полагаем, что динамическое равновесие (перераспределение усилий) в системе упругостей устанавливается быстрее, чем период интегрирования дискретной модели (50 мкс) и вся эта система с точки зрения внешнего наблюдателя ведёт себя как система второго порядка – «груз на пружине».

После исследования мы остановились на модели мехатронного модуля, которая условно разделяет его на два узла так, чтобы связи

элементов в составе каждого узла были относительно жёсткими. В первый узел входит модель ДПТ, планетарный редуктор и волновой генератор, во второй узел – ведомая часть волнового редуктора и вал между волновым редуктором и датчиком момента. Каждый из узлов имеет собственную модель трения и приведённый момент инерции.

Таким образом, функционирование дискретной модели подчиняется набору режимов, обусловленных состоянием нелинейных элементов. Для каждого узла модели мехатронного модуля мы можем выделить три основных состояния, обусловленных моделью трения.

- 1) Состояние покоя – сила трения покоя удерживает узел в неподвижном состоянии
- 2) Состояние «срыва» – узел приходит в движение, но ещё действует трение покоя
- 3) Узел находится в движении и действует типовая модель сухого и вязкого трений

Для верификации уже полной имитационной модели был поставлен эксперимент, в котором один и тот же входной сигнал был подан на реальный мехатронный модуль и на имитационную модель. На вход мы подавали треугольный сигнал (см. рис. 1). Имитационная модель и реальный модуль отработали положение и скорость на выходном валу волнового редуктора с пренебрежимо малой погрешностью.

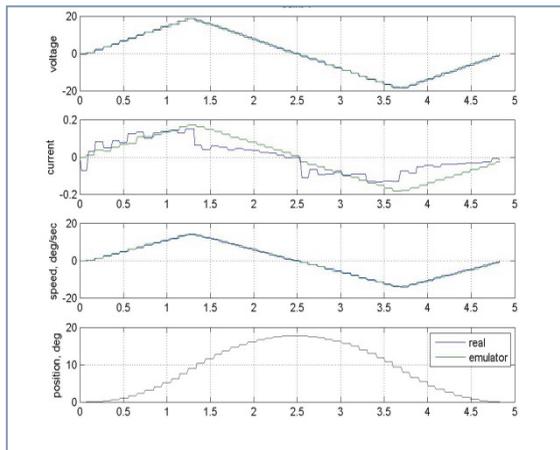


Рисунок 1 – Сравнение имитационной модели с реальным мехатронным модулем

Yu. Yu. Andreeva, B.A. Zhukov, Ya. V. Kalinin
**DEVELOPMENT OF RUBBER AND METAL DAMPER
OF ROBOTIC DEVICES**

*Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
dvr@vstu.ru*

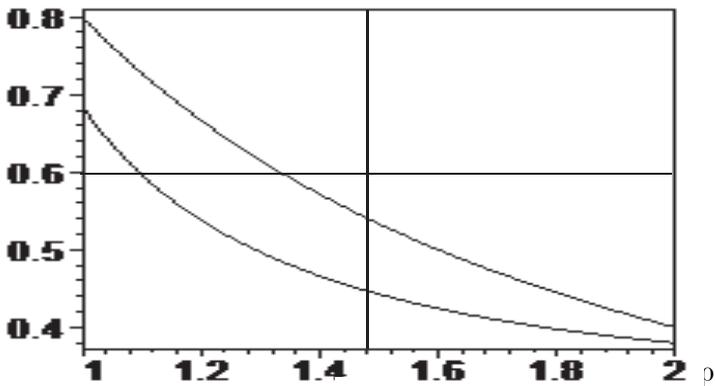
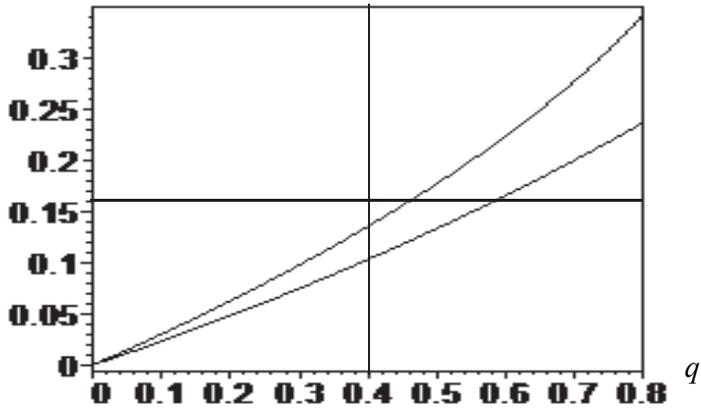
In modern robotic systems, new materials are increasingly being used that have specific properties: plastics, rubbers, special types of steel, glue and elastic compounds. This is caused by strict restrictions on the mass of the robot and the requirements of its efficiency at the lowest cost. Therefore, in order to make wider and more cost-effective use of such new materials with specific properties in robotics and mechanical engineering, it is generally necessary to develop new and refine existing models of the behavior of such materials in real conditions.

The solution of problems of the nonlinear theory of elasticity for rubber-like materials is complicated by the fact that the form of the equation of state is unknown, describing their behavior with acceptable accuracy for any kind of loading, like Hooke's law in linear theory. At the moment, there are many models that are in good agreement with the experiment with one type of loading and poorly with the other for specific materials. In work [1], 32 known models of hyperelastic isotropic incompressible materials are presented and new ones are proposed. In [2] one can find another 12 models not mentioned in [1].

The considered problem was solved by many authors for various potentials. Let us dwell on some of those potentials [1] for which we could not find solutions in the literature.

Success in obtaining an explicit expression for an exact solution depends on the possibility of obtaining an explicit expression for solving this equation with respect to. Obtaining such a solution is always possible for algebraic equations of degree not higher than the fourth. For transcendental equations, obtaining an explicit expression for a solution is problematic. New exact analytical solutions are obtained for a single problem of the nonlinear theory of elasticity for two potentials of the strain energy of incompressible material Fung and Gent-Thomas.

New accurate analytical solutions to the problem of the nonlinear theory of elasticity for rubber shear shock absorbers are obtained. The results are shown in Fig. 1 and 2. The obtained solutions are intended for verification of numerical methods.



The work was supported by the RFBR (grant No. 18-41-343001).

1. Hossa L., Marczakb R. J. A new constitutive model for rubber-like materials. // Computational Mechanics 29, 2010. P. 2759 - 2773.
2. Chernykh K.F., Shubina I.M. Zakony uprugosti dlya izotropnykh neszhimayemykh materialov, fenomenologicheskiy podkhod // Mekhanika elastomerov. Krasnodar, 1977. T. 1. Vyp. 242. S. 54–64.

Ю.Ю. Андреева, Б.А. Жуков, Я.В. Калинин
РАЗРАБОТКА РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО АМОРТИЗАТОРА
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

*Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, dvr@vstu.ru*

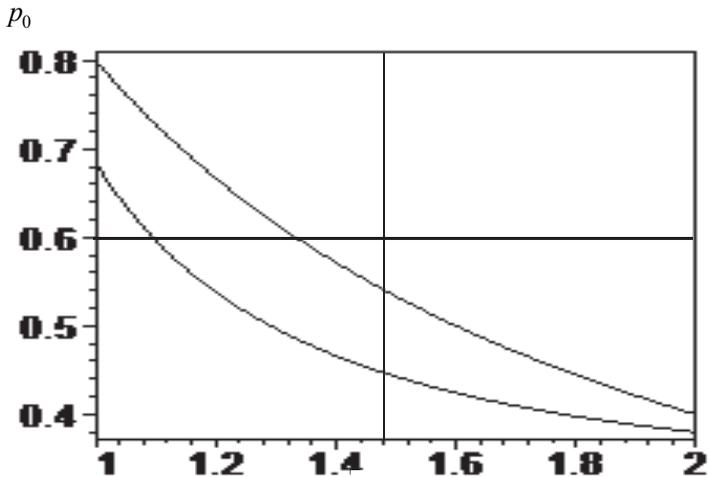
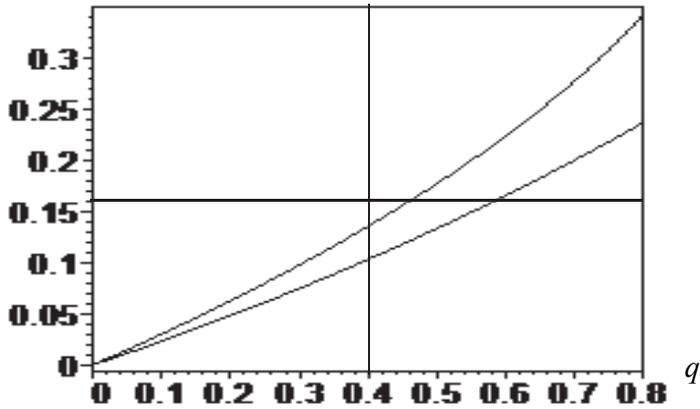
В современных робототехнических системах всё чаще и шире применяются новые материалы, которые обладают специфическими свойствами: пластмассы, резины, специальные виды сталей, клеевые и упругие соединения. Это вызвано жёсткими ограничениями на массу робота и требованиях эффективности его работы при минимальной стоимости. Поэтому для возможности более широкого и экономически эффективного применения таких новых материалов со специфическими свойствами в робототехнике и машиностроении вообще необходимо разрабатывать новые и уточнять существующие модели поведения таких материалов в реальных условиях.

Решение задач нелинейной теории упругости для резиноподобных материалов осложняется тем, что неизвестен вид уравнения состояния, описывающий с приемлемой точностью их поведение при любых видах нагружения, подобно закону Гука в линейной теории. На данный момент известно множество моделей, которые хорошо согласуются с экспериментом при одном виде нагружения и плохо при другом для конкретных материалов. В работе [1], приведены 32 известные модели гиперупругих изотропных несжимаемых материалов и предлагаются новые. В работе [2] можно найти еще 12 моделей не упомянутых в [1].

Рассматриваемая задача решалась многими авторами для различных потенциалов. Остановимся на некоторых из тех потенциалов [1], для которых нам не удалось найти решения в литературе.

Успех в получении явного выражения для точного решения зависит от возможности получения явного выражения для решения этого уравнения относительно. Получение такого решения всегда возможно для алгебраических уравнений степени не выше четвертой. Для трансцендентных уравнений получение явного выражения для решения проблематично. Получены новые точные аналитические решения одной задачи нелинейной теории упругости для двух потенциалов энергии деформации несжимаемого материала Фунга и Гента-Томаса.

Получены новые точные аналитические решения задачи нелинейной теории упругости для резинотехнических амортизаторов сдвига. Результаты приведены на рис. 1 и 2. Полученные решения предназначены для верификации численных методов.



Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-41-343001).

1. Hossa L., Marczakb R. J. A new constitutive model for rubber-like materials. // Computational Mechanics 29, 2010. P. 2759 - 2773.
2. Черных К.Ф., Шубина И.М. Законы упругости для изотропных несжимаемых материалов, феноменологический подход // Механика эластомеров. Краснодар, 1977. Т. 1. Вып. 242. С. 54–64.

H. Senov, Yu. Bolgov
**THE DEVELOPMENT OF ROBOTIC SYSTEM FOR REMOTE
MONITORING OF AVALANCHE AND MUDFLOW
HOTBEDS MOUNTAIN AREAS OF KBR**

*Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia
XMSenov@mail.ru, yuriy6601@mail.ru*

The development of mountain areas is complicated by a number of natural hazards, which primarily include mudflows and avalanches. The article provides an overview of the existing monitoring systems of mudflow and avalanche hotbeds and presents a description of the project of a robotic complex for remote monitoring of avalanche and mudflow hotbeds in the mountainous territory of KBR. The complex includes a network of stationary monitoring devices, a system for receiving and processing information and a mobile component of the system (includes a robotic platform of high permeability and a quadcopter with a video recording system).

1. Adzhiev A. H., Bolgov Y. V., Kondratyeva N. V., Senov H. M. A Hardware–Software Complex for Remote Monitoring of Debris Flows. *Pribory i Tekhnika Eksperimenta*, 2016, No. 5, pp. 754–761. doi: 10.1134/S002044121604014X
2. Wilson R.C., Mark R.K., Barbato G. Operation of a Real–time warning system for debris flows in the S. Francisco Bay Area, California. *Proceedings of the ASCE 1993 National Conference on Hydraulic Engineering and International Symposium on Engineering Hydrology*, San Francisco, 25–30 July 1993; Shen H. W.; Su S.T.; Wen F., Eds.; ASCE: New York, 1993; pp. 1592–1597.
3. Сейнова И.Б., Татьяна Л.В. Критические значения метеорологических параметров селеопасных ситуаций высокогорного района Центрального Кавказа // *Метеорология и гидрология*. 1977. №12. С. 74–81.
4. Arattano M., Deganutti A.M., Marchi L. Debris Flow Monitoring Activities in an Instrumented Watershed of the Italian Alps. *Proceedings of the First International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*, San Francisco, August 7–9, 1997; Chen C.; Ed.; Water Resources Engineering Division – ASCE: New York, 1997; pp. 506–515.
5. Arattano M., Marchi L. Systems and Sensors for Debris-flow Monitoring and Warning // *MDPI*. (www.mdpi.org/sensors) *Sensors* 2008, 8, p. 2436–2452. doi:10.3390/s8042436.
6. Hürlimann, M., Rickenmann D., Graf C. Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps, *Canadian Geotechnical Journal* 2003, 40, 161–175. doi:10.1139/T02-087.

7. Abancó C., Hürlimann M., Moya J. Analysis of the ground vibration produced by debris flows and other torrential processes at the Rebaixader monitoring site (Central Pyrenees, Spain). *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 2013, 1, 4389–4423. doi:10.5194/nhess-14-929-2014.
8. Yin H.Y. Debris-flow monitoring and warning in Taiwan. *International Workshop Monitoring Bedload and debris flows in Mountain Basins, Bozen-Bolzano (Italy)* 10–12 October 2012.
9. Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. Л.: ГИМИЗ, 1987. 280с.
10. Войтковский К.Ф. Лавиноведение. – М.: Из-во МГУ, 1989. -158 с.

Х.М. Сенов, Ю.В. Болгов

**РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА
ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЛАВИНООПАСНЫХ
И СЕЛЕОПАСНЫХ ОЧАГОВ ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ КБР**

*Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик
XMSenov@mail.ru, yuriy6601@mail.ru*

Освоение горных территорий осложнено рядом опасных природных явлений, к которым в первую очередь относятся сели и снежные лавины. В статье приведен обзор существующих систем мониторинга селеопасных и лавиноопасных очагов и представлено описание проекта роботизированного комплекса дистанционного мониторинга лавиноопасных и селеопасных очагов горной территории КБР. В состав комплекса входит сеть стационарных устройства мониторинга, система приема и обработки информации и мобильный компонент системы (включает роботизированную платформу высокой проходимости и квадрокоптер с системой видео регистрации).

1. Adzhiev A. N., Bolgov Y. V., Kondratyeva N. V., Senov H. M. A Hardware–Software Complex for Remote Monitoring of Debris Flows. *Pribory i Tekhnika Eksperimenta*, 2016, No. 5, pp. 754–761. doi: 10.1134/S002044121604014X
2. Wilson R.C., Mark R.K., Barbato G. Operation of a Real–time warning system for debris flows in the S. Francisco Bay Area, California. *Proceedings of the ASCE 1993 National Conference on Hydraulic Engineering and International Symposium on Engineering Hydrology, San Francisco, 25–30 July 1993*; Shen H. W.; Su S.T.; Wen F., Eds.; ASCE: New York, 1993; pp. 1592–1597.
3. Сейнова И.Б., Татьян Л.В. Критические значения метеорологических параметров селеопасных ситуаций

- высокогорного района Центрального Кавказа //Метеорология и гидрология. 1977. №12. С. 74–81.
4. Arattano M., Deganutti A.M., Marchi L. Debris Flow Monitoring Activities in an Instrumented Watershed of the Italian Alps. Proceedings of the First International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, San Francisco, August 7–9, 1997; Chen C.; Ed.; Water Resources Engineering Division – ASCE: New York, 1997; pp. 506–515.
 5. Arattano M., Marchi L. Systems and Sensors for Debris-flow Monitoring and Warning //MDPI. (www.mdpi.org/sensors) Sensors 2008, 8, p. 2436–2452. doi:10.3390/s8042436.
 6. Hürlimann, M., Rickenmann D., Graf C. Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps, Canadian Geotechnical Journal 2003, 40, 161–175. doi:10.1139/T02-087.
 7. Abancó C., Hürlimann M., Moya J. Analysis of the ground vibration produced by debris flows and other torrential processes at the Rebaixader monitoring site (Central Pyrenees, Spain). Natural Hazards and Earth Systems Sciences 2013, 1, 4389–4423. doi:10.5194/nhess-14-929-2014.
 8. Yin H.Y. Debris-flow monitoring and warning in Taiwan. International Workshop Monitoring Bedload and debris flows in Mountain Basins, Bozen-Bolzano (Italy) 10–12 October 2012.
 9. Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. Л.: ГИМИЗ, 1987. 280с.
 10. Войтковский К.Ф. Лавиноведение. – М.: Из-во МГУ, 1989. -158 с.

V.A. Rachis, E.I. Beishenbaev, G.M. Medetova, V.A. Gallinger
**DEVELOPMENT OF ROBOTIC TECHNOLOGY SYSTEM
FOR INTELLECTUAL REPAIR OF ROAD LOAD**

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
seva-ra4is@mail.ru*

It's no secret that the current state of Russian roads is not at the highest level. The data of the "global competitiveness rating", which compares 140 countries, show that their rating is very low [1,2].

There are many reasons for this quality of roads, among them there are technical: poor quality or complete lack of repair, non-compliance with technology, low-qualified personnel, and the lack of system control [3,4,5].

Their solution is to create a robotic complex capable of independent movement around the city, the definition of pits and their repair using jet-injection method. The robotic system should be almost fully automated, but it is necessary to take into account the possibility of instant interception of control.

The main computer center is a personal computer, Kinect controller is used to obtain the depth map. The robot must move along the road using WiFi or 3G/4G to connect to the monitoring server, detect the pit and scan it after that, fill the hole in proportion to its depth and remove the debris behind him.

The project is expected to be several stages:

- 1) Search for information about the problem, the study of ways to solve it, including the analysis of technologies, analogues and their shortcomings
 - 2) Development of a conceptual prototype
 - 3) Finding funding for the next phase
 - 4) Creating a laboratory prototype
 - 5) Finding a strategic partner
 - 6) Production of industrial complex, that is the final version
1. The Russian roads took the 123rd place in the world ranking//URL News: <https://iz.ru/news/598884> (date of the address: 25.12.2017).
 2. Rating of quality of roads of Russia//Highways URL: <http://tomnosti.info/dorogi-kak-i-pochemu-2/rejting-kachestva-dorog-rossii.shtml> (date of the address: 25.12.2017).
 3. STATISTICS of ROAD ACCIDENTS FOR 2017 IN RUSSIA//PROVodim24 URL: <http://provodim24.ru/statistika-dtp.html> (date of the address: 25.12.2017).
 4. 10 reasons, why in Russia bad roads//VARLAMOV.RU URL: <https://varlamov.ru/1256164.html> (date of the address: 25.12.2017).
 5. Scientists told why in Russia bad roads//DRIVE2 URL: <https://www.drive2.ru/c/298786/>(date of the address: 25.12.2017).

*В.А. Рачис, Э.И. Бейшенбаев,
Г.М. Медетова, В.А. Галлингер*
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО РЕМОНТА
ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА**

*Национальный исследовательский Томский
политехнический университет, г. Томск,
seva-ra4is@mail.ru*

Ни для кого не секрет, что современное состояние российских дорог далеко не на высшем уровне. Данные «глобального рейтинга конкурентоспособности», в котором сравнивают 140 стран, свидетельствуют, что их рейтинг очень низкий [1,2].

Существует много причин такого качества дорог, среди них есть и технические: некачественное или полное отсутствия ремонта, несоблюдение технологий, низко квалифицированный персонала, а также отсутствие системного контроля [3,4,5].

Их решение заключается в создании робототехнического комплекса способного к самостоятельному передвижению по городу, определению ям и их ремонту при помощи струйно-инъекционного метода. Робототехнический комплекс должен быть практически полностью автоматизированным, однако нужно учесть возможность моментального перехвата управления.

Основным вычислительный центром является персональной компьютер, для получения карты глубины используется контроллер Kinect. Робот должен перемещаться по дороге. при помощи WiFi или 3G/4G подключаться к контролирующему серверу, детектировать яму и сканировать её после чего, засыпать яму пропорционально её глубине и убрать мусор за собой.

Проект ожидает несколько основных этапов:

- 1) Поиск информации о проблеме, изучение способов её решения, включая анализ технологий, аналогов и их недостатков
- 2) Разработка концептуального прототипа
- 3) Поиск финансирование на выполнение следующего этапа
- 4) Создание лабораторного прототипа
- 5) Поиск стратегического партнёра
- 6) Изготовление промышленного комплекса, то есть окончательного варианта

1. Российские дороги заняли 123-е место в мировом рейтинге // Известия URL: <https://iz.ru/news/598884> (дата обращения: 25.12.2017).

2. Рейтинг качества дорог России // Автомобильные дороги URL: <http://tomnosti.info/dorogi-kak-i-pochemu-2/rejting-kachestva-dorog-rossii.phtml> (дата обращения: 25.12.2017).
3. Статистика автокатастроф за 2017 год в России // PROVodim24 URL: <http://provodim24.ru/statistika-dtp.html> (дата обращения: 25.12.2017).
4. 10 причин, почему в России плохие дороги // VARLAMOV.RU URL: <https://varlamov.ru/1256164.html> (дата обращения: 25.12.2017).
5. Учёные рассказали, почему в России плохие дороги // DRIVE2 URL: <https://www.drive2.ru/c/298786/> (дата обращения: 25.12.2017).

H. Senov, Yu. Bolgov
**DEVELOPMENT OF A DIGITAL MAP OF MUDFLOW
AND AVALANCHE AREAS OF KBR**

Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia
XMSenov@mail.ru, yuriy6601@mail.ru

The results of creating a digital model of the relief of the territory of the Kabardino-Balkar Republic according to radar interferometric survey are presented. The format of the initial data and the algorithm of the relief model construction are described. The algorithm provides rapid construction of a digital model of different parts of the earth's surface at different scales and levels of detail and can be used to build three-dimensional thematic maps for various purposes, such as mudflow and avalanche areas, and in the creation of navigation support systems of mobile robotics, including automatic unmanned aerial vehicles.

1. Аджиев А.Х., Болгов Ю.В., Сенов Х.М., Кондратьева Н.В. Автоматизированная система дистанционного мониторинга селеопасных очагов. Качество. Инновации. Образование. Всероссийская конференция «Информационные технологии, менеджмент качества, информационная безопасность». 2015. № 5. т. II. С. 205 – 209.
2. Adzhiev A.H., Bolgov Yu.V., Kondratyeva N.V., Senov H.M. A Hardware–Software Complex for Remote Monitoring of Debris Flows // *Priboory i Tekhnika Eksperimenta*, 2016, No. 5, pp. 138–146. DOI: 10.1134/S002044121604014X.
3. О данных SRTM и их импорте с помощью Arcinfo Workstation. <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>
4. The shuttle radar topography mission. / Farr Tom G., Hensley Scott, Rodriguez Ernesto, Martin Jan, Kobrick Mike. // CEOS SAR Workshop. Toulouse 26-29 Oct. 1999. Noordwijk. 2000, с. 361-363.
5. Описание и получение данных SRTM. <http://gis-lab.info/qa/strm.html>.
6. Карионов Ю.И. Оценка точности матрицы SRTM. <http://www.racurs.ru>.
7. Муравьев Л. Высотные данные SRTM против топографической съемки. <http://web.ru/db/msg.html?mid=1177761>.

Х.М. Сенов, Ю.В. Болгов
**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ТРЕХМЕРНОЙ КАРТЫ
СЕЛЕОПАСНЫХ И ЛАВИНООПАСНЫХ
УЧАСТКОВ ТЕРРИТОРИИ КБР**

*Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик
XMSenov@mail.ru, yuriy6601@mail.ru*

Представлены результаты создания цифровой модели рельефа территории Кабардино-Балкарской республики по данным радарной интерферометрической съемки. Описан формат исходных данных и алгоритм построения модели рельефа. Алгоритм обеспечивает оперативное построение ЦМР различных участков поверхности земли в различном масштабе и уровне детализации и может использоваться как для построения трехмерных тематических карт различного назначения, например, селеопасных и лавиноопасных участков, так и при создании навигационного обеспечения систем мобильной робототехники, включая автоматические беспилотные летательные аппараты.

1. Аджиев А.Х., Болгов Ю.В., Сенов Х.М., Кондратьева Н.В. Автоматизированная система дистанционного мониторинга селеопасных очагов. Качество. Инновации. Образование. Всероссийская конференция «Информационные технологии, менеджмент качества, информационная безопасность». 2015. № 5. т. II. С. 205 – 209.
2. Adzhiev A.H., Bolgov Yu.V., Kondratyeva N.V., Senov H.M. A Hardware–Software Complex for Remote Monitoring of Debris Flows // Pribory i Tekhnika Eksperimenta, 2016, No. 5, pp. 138–146. DOI: 10.1134/S002044121604014X.
3. О данных SRTM и их импорте с помощью Arcinfo Workstation. <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>
4. The shuttle radar topography mission. / Farr Tom G., Hensley Scott, Rodriguez Ernesto, Martin Jan, Kobrick Mike. // CEOS SAR Workshop. Toulouse 26-29 Oct. 1999. Noordwijk. 2000, с. 361–363.
5. Описание и получение данных SRTM. <http://gis-lab.info/qa/strm.html>.
6. Карионов Ю.И. Оценка точности матрицы SRTM. <http://www.racurs.ru>.
7. Муравьев Л. Высотные данные SRTM против топографической съемки. <http://web.ru/db/msg.html?mid=1177761>.

*V.G. Gradetsky¹, I.L. Ermolov¹, M.M. Knyazkov¹,
E.A. Semenov¹, B.S. Lapin²,
S.A. Sobolnikov², A.N. Sukhanov¹*

**CALCULATION APPROACH FOR CONTROL OF MOBILE
ROBOTS MOVING IN ORGANIZED GROUP
OVER COMPLEX SURFACE UNDER JOINT
TRANSPORTATION TASK**

¹ *Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow,*

² *MSTU "STANKIN", Moscow*

ermolov@ipmnet.ru

The growing interest to the developing of autonomous robotic systems reveals a new motivation for researchers for the development of mobile robot control systems, and for controlling UGVs in particular. [1,2]

The most prospective application of group control algorithms for mobile robots is the solution of the transport problem. Amongst plenty different approaches in successfully solving that task under ideal conditions there are some solutions that work successfully in a real heterogeneous environment, but they are less common. This is caused, in particular, by the fact that the simulation of complex control task for group of mobile robots in real conditions is more complicated because robots within the group may move over surfaces with different characteristics.[3]

This paper presents a technique of solving the transport task performed by a group of mobile robots under the conditions of heterogeneity of the surface of moving.

The developed technique is successfully tested and simulated in the specially designed software intended to simulation control for group of mobile robots performing under joint transportation task. [4]

The required characteristics of some types of surfaces on which the simulation was performed were obtained from an experimental study.

This work is supported by RFBR Grant №16-29-04199 ofi_m.

1. Ermolov I.L., O faktorah, vliyayushchih na uroven' avtonomnosti v prostranstve transportnyh shassi nazemnyh mobil'nyh robotov (*On the factors affecting the level of autonomy of transport chassis of ground mobile robots*) "Izvestiya YuFU. Technical Sciences", №1, 210-218pp, 2016. *In Russian*
2. I.A. Kalyaev, Models and algorithms of collective control in groups of robots: [monography] / I. Kaliaev, A. G. Kapustyan. - Moscow : Fizmatlit, 2009,. - 278 p.: Iss.1.
3. Hutangkabodee, Suksun, et al. "Soil Parameter Identification and Driving Force Prediction for Wheel-Terrain Interaction." *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Nov. 2008, doi:10.5772/6225.

4. Ermolov I.L., Lapin, B.S., Sobolnikov A.S., Programmnyj kompleks dlya razrabotki, modelirovaniya i ekspluatatsii sistem gruppovogo upravleniya mobil'nyh robotov (*Software for design, simulation and operation of systems of group control of mobile robots*) // Proc. Of Extreme robotics. — Vol. 1. — Saint-Petersburg, 2018. — 164–165pp. in Russian

**В.Г. Градецкий¹, И.Л. Ермолов¹, М.М. Князьков¹,
Е.А. Семёнов¹, Б.С. Лапин²,
С.А. Собольников², А.Н. Суханов¹**

**РАСЧЕТ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ РОБОТОВ
ГРУППЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТРАНСПОРТНОЙ
ЗАДАЧИ НА НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

¹ *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук (ИПМех РАН), Москва,*

² *МГТУ "СТАНКИН", Москва
ermolov@ipmnet.ru*

Растущее внимание к созданию автономных робототехнических комплексов открывает перед исследователями новую мотивацию развития систем управления роботом, в особенности, систем группового управления и в частности, систем группового управления мобильных роботов наземного базирования. [1,2]

Наиболее перспективным применением группового управления мобильными наземными роботами является решение транспортной задачи. При широком распространении решений, успешно работающих в приближенном к идеальным условиям, решения, успешно работающие в естественной неоднородной среде, распространены гораздо меньше. Такое положение дел вызвано, в частности, тем, что создание обладающих высокой сложностью систем группового управления, в естественных условиях дополнительно усложняется тем, что роботы группы могут находиться на поверхностях с различными характеристиками. [3]

В данной работе будет представлена методика решения транспортной задачи группой мобильных роботов в условиях неоднородности поверхности, по которой выполняется движение роботов.

Разработанная методика успешно отлажена и промоделирована в специализированном программном обеспечении для отладки и моделирования систем группового управления, разработанном ранее. [4]

Требующиеся характеристики некоторых типов поверхностей, на которых производилось моделирование, получены из экспериментального исследования.

Работа поддержана грантом РФФИ №16-29-04199 офи_м.

1. Ермолов И.Л., О факторах, влияющих на уровень автономности в пространстве транспортных шасси наземных мобильных роботов “Известия ЮФУ. Технические науки”, №1, 210-218с, 2016.
2. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит, 2009. – 278 с.
3. Hutangkabodee, Suksun, et al. “Soil Parameter Identification and Driving Force Prediction for Wheel-Terrain Interaction.” International Journal of Advanced Robotic Systems, Nov. 2008, doi:10.5772/6225.
4. Ермолов И. Л., Лапин Б. С., Собольников С. А. Программный комплекс для разработки, моделирования и эксплуатации систем группового управления мобильных роботов // Экстремальная робототехника. — Т. 1. — Санкт-Петербург, 2018. — С. 164–165.

A.V. Mal'chikov, L.Yu. Vorochaeva, A.V. Repkin
**IMPLEMENTATION OF THE SET OF MEASURING TOOLS
OF A WHEELED JUMPING ROBOT FOR THE TASKS
OF AUTONOMOUS OVERCOMING OF OBSTACLES**

*Southwest State University, Kursk, Russia
mila180888@yandex.ru*

In recent decades, more and more mechanisms can be found that combine the principles of wheeled propulsion and a jumping mechanism. This is due to the wide possibilities to overcome difficult areas on rough terrain opening up in front of a mobile robot, moving with a separation from the supporting surface. In the present work, the implementation of the measuring system of a mobile jumping wheeled robot is presented (fig. 1) [1]. Using a set of sensors, including an infrared rangefinder, an IMU module, a video camera and lidars, allows the robot to move across rough terrain in automatic or semi-automatic mode.

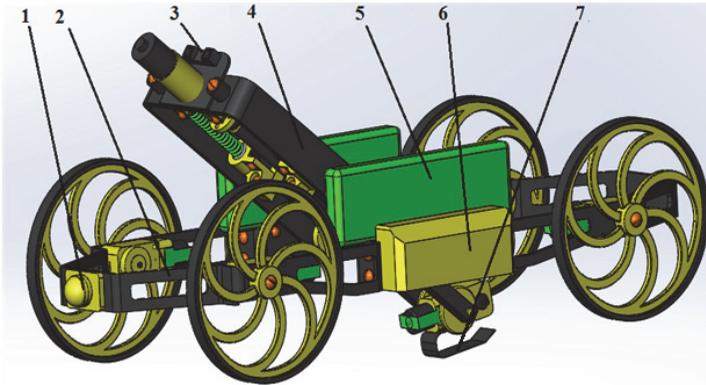


Figure 1 – Wheeled jumping robot: 1 – camera, 2 – power frame, 3 – Infrared rangefinder, 4 – jumping mechanism, 5 – batteries, 6 – control system, 7 – jumping mechanism support

The paper describes a brief overview of environmental mapping methods based on the use of a rangefinder (or lidar) and indoor positioning sensors. These sensors allow to define the current position and orientation of the robot. The article presents the reasoning based on which the use of standard SLAM algorithms for robot moving is not rational. A much simpler method was proposed, based on direct movement towards the target and in case of an obstacle, assessing its ability to jump using image processing from the camera and data from rangefinder [2].

In addition, the paper discusses the classical methods of finding the path, allowing to find the shortest path, provided that the map of the area is known in advance. As the most acceptable for the task of avoiding obstacles by mobile robot, was selected search algorithm A*. This is one of the most simple heuristic methods, but at the same time it allows to take into account the different cost of movement by wheels and by jumps [3].

Schematically, two different approaches to the implementation of movement on the map with obstacles from the starting point, located in the lower left corner of the map, to the end point, located near the upper right corner of the map, are shown in fig. 2.

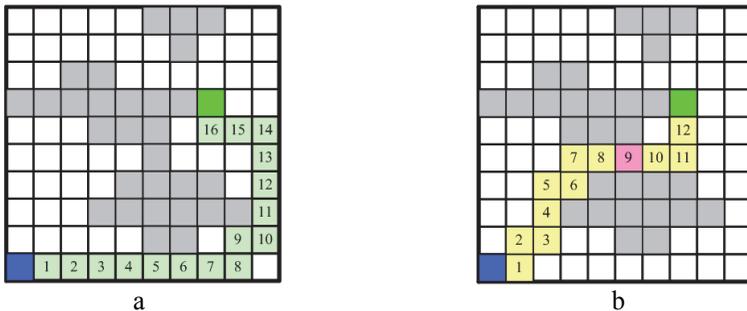


Figure 2 – Scheme of finding the shortest path:
a – when driving only on wheels,
b – when using a jumping mechanism

Movement using the wheel module is shown in Fig. 5, a, the number of steps in this method of movement is equal to 16. The use of the combined method of movement - due to the wheel module and jumps - is presented in Fig. 5, b, in this case the number of steps is 12.

The work was carried out within the RFBR project № 18-31-00075.

1. Mal'chikov A.V., Vorochayeva L.YU., Savin S.I. Konstruktsiya i sistema upravleniya kolesnogo prygayushchego robota // MIKMUS-2018: sbornik trudov konferentsii, Moskva. – 2019. – S. 479–482.
2. Durrant-Whyte H., Bailey T. Simultaneous localization and mapping: part I // IEEE Robotics & Automation Magazine. – 2006. – Vol. 13. – №. 2. – P. 99-110.
3. Dellling D., Sanders P., Schultes D., Wagner D. Engineering route planning algorithms // Algorithmics of large and complex networks. – Springer, Berlin, Heidelberg. – 2009. – P. 117-139.

А.В. Мальчиков, Л.Ю. Ворочаева, А.В. Репкин
**РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ
ПРЫГАЮЩЕГО КОЛЕСНОГО РОБОТА ДЛЯ ЗАДАЧ
АВТОНОМНОГО ПРЕОДОЛЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ**

*Юго-Западный государственный университет, г. Курск
mila180888@yandex.ru*

В последние десятилетия все чаще можно встретить механизмы, сочетающие в себе принципы колесного движителя и прыжкового механизма. Это обусловлено их широкими возможностями по преодолению сложных участков на пересеченной местности. В настоящей работе представлена одна из возможных реализаций измерительной системы мобильного прыгающего колесного робота [1]. Использование комплекса датчиков, включающего в себя инфракрасный дальномер, IMU-модуль, видеокамеру и лидар, позволяет осуществлять перемещение робота по пересеченной местности в автоматическом или полуавтоматическом режиме.

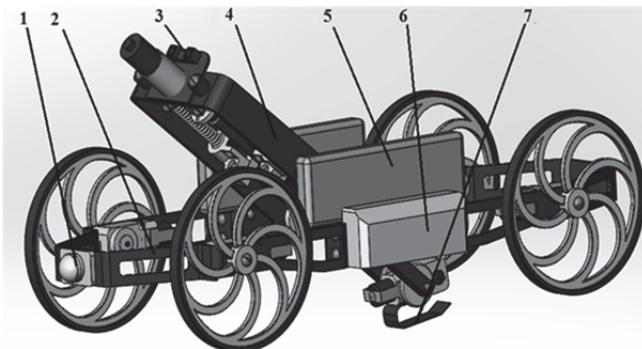


Рисунок 1 – Колесный прыгающий робот: 1 – камера, 2 – силовая рама, 3 – ИК-дальномер, 4 - прыжковый механизм, 5 – аккумуляторы, 6 – система управления, 7 – опора прыжкового механизма

В работе описан краткий обзор методов построения карт окружения, основанных на использовании дальномера (или лидара) и датчиков, позволяющих оценивать текущее месторасположение и ориентацию робота в пространстве. Помимо этого показано, что использование стандартных SLAM-алгоритмов не рационально, и предложен значительно более простой метод, основанный на прямом движении по направлению к цели и оценке возможности перепрыгивания препятствия в случае его обнаружения с помощью обработки снимка с камеры и с помощью дальномера, закрепленного на поворотной штанге разгонного модуля прыжкового механизма [2].

Кроме этого в работе рассмотрены классические методы поиска пути, позволяющие найти кратчайший путь при условии, что карта местности заранее известна. В качестве наиболее приемлемого для поставленной задачи обхода мобильным роботом препятствий выбран один из простых эвристических методов, но при этом позволяющий учитывать различную стоимость движения с помощью колесного движителя и прыжками, – "А звезда" [3].

Схематично два различных подхода к реализации движения (объезд при помощи колесной платформы и движение с использованием прыжкового модуля) на карте с препятствиями, показаны на рис. 2.

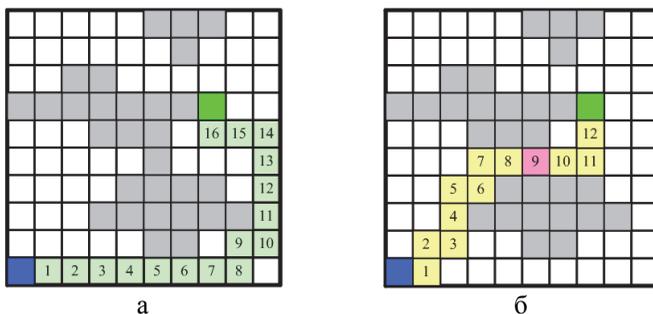


Рисунок 2 – Схема поиска кратчайшего пути:
 а – при движении только на колесах,
 б – при использовании прыжкового механизма

Передвижение при помощи колесного модуля изображено на рис. 2, а, число шагов при этом способе движения равно 16. Использование комбинированного способа перемещения – за счет колесного модуля и прыжками – представлено на рис. 2, б, в этом случае число шагов равно 12.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-31-00075.

1. Мальчиков А.В., Ворочаева Л.Ю., Савин С.И. Конструкция и система управления колесного прыгающего робота // МИКМУС-2018: сборник трудов конференции, Москва. – 2019. – С. 479–482..
2. Durrant-Whyte H., Bailey T. Simultaneous localization and mapping: part I // IEEE Robotics & Automation Magazine. – 2006. – Vol. 13. – №. 2. – P. 99-110.
3. Delling D., Sanders P., Schultes D., Wagner D. Engineering route planning algorithms // Algorithmics of large and complex networks. – Springer, Berlin, Heidelberg. – 2009. – P. 117-139.

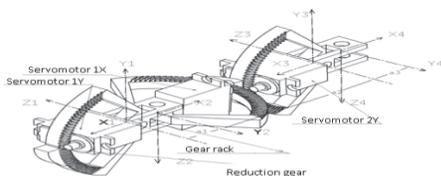
A.R. Gladyshev, A.U. Aleynikov
**REALIZATION OF THE RHYTHMIC MOTOR FUNCTIONS
OF A SNAKE-LIKE ROBOT OF OUR OWN
DESIGN USING CPG**

*Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education «Belgorod National Research University»,
NRU «BelSU», Belgorod, Russia
1173079@bsu.edu.ru, aleinikov@bsu.edu.ru*

The work is aimed at solving the fundamental problem of robotics, associated with the development of the theoretical foundations of creating snake-like mobile robots [1] and the synthesis of rhythmic motor functions in them.

Such robots have the ability to move in different environments over very rough terrain. Their areas of application can be: pipeline control, emergency response and search and rescue; geological surveys; agriculture, etc.

For the experiments, a snake-like robot's own mechanical design was used (and a robot assembled from similar links), allowing movement in two orthogonal planes, combining the functions of an additional gearbox in addition to the servo drive already in use and providing less power characteristics (presented Figure 1 (a, b)).



(a)



(b)

Figure 1 – Construction link (a), snake-like robot (b)

Based on the models of nonlinear oscillators Matsuoka and Kuramoto [2, 3], approaches were proposed to implement the rhythmic motor functions of a snake-like robot and a method was suggested for correcting them as a result of interaction with obstacles.

When implementing servo-drive control of a snake-like robot, each of the two planes (eight servos in each) has its own independent network.

In accordance with the network models, the influence of opposite neurons of neighboring nonlinear oscillators on each other is provided. Also, the network is looped (the last neurons are connected to the first).

Mathematical modeling was carried out in the MatLab environment. When working with differential equations, the Euler method was used.

Graphs of the output variable (proportional to the angle of rotation of the servo drive of the corresponding link) versus the relative time for each nonlinear oscillator of the network are shown in Fig. 2.

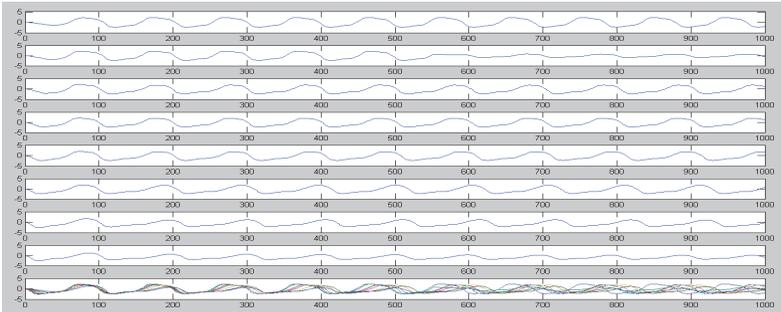


Figure 2 – Result of the network of nonlinear oscillators

Based on the models, algorithms and software have been developed for moving a snake-like robot by implementing rhythmic traveling waves by means of a central pattern generator (CPG) taking into account the influence of obstacles.

1. Aleinikov A.Yu., Afonin A.N. Issledovanie povedeniya zmeepodobnogo robota dlya inspektsii truboprovodov v usloviyakh otkaza zven'ev // Proektirovanie mashin, robotov i mekhatronnykh sistem. Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-metodicheskoi konferentsii – Orel: OGU imeni I. S. Turgeneva, 2017, S. 11-12.
2. Carlos GARCIA-SAURA. Central Pattern Generators for the control of robotic systems. Independent Study Option report, April 2015 MSc in Computing (Spec. in Artificial Intelligence) Imperial College London.
3. A. Crespi and A.J. Ijspeert. Amphibot II: An Amphibious Snake Robot that Crawls and Swims using a Central Pattern Generator. In Proceedings of the 9th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR 2006), pages 19–27, 2006.

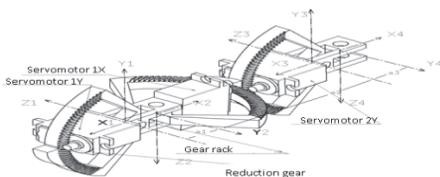
А.Р. Гладышев, А.Ю. Алейников
**РЕАЛИЗАЦИЯ РИТМИЧНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ
ЗМЕЕПОДОБНОГО РОБОТА СОБСТВЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРГ**

*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет», НИУ «БелГУ», г. Белгород
1173079@bsu.edu.ru, aleinikov@bsu.edu.ru*

Работа направлена на решение фундаментальной проблемы робототехники, связанной с разработкой теоретических основ создания змееподобных мобильных роботов [1] и синтеза у них ритмичных двигательных функций.

Подобные роботы обладают возможностью перемещаться в разных средах по сильно пересеченной местности. Их областями применения могут быть: контроль трубопроводов, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций и проведение поисково-спасательных работ; геологические изыскания; сельское хозяйство и т.д.

Для экспериментов была использована собственная механическая конструкция звена змееподобного робота (и робот, собранный из однотипных звеньев), позволяющая осуществлять перемещение в двух ортогональных плоскостях, совмещающая функции дополнительного редуктора вдобавок к уже имеющемуся в сервоприводе и обеспечивающая возможность использования сервопривода с меньшими силомоментными характеристиками (представлены на рисунке 1(а,б)).



(а)



(б)

Рисунок 1 – Конструкция звена (а), змееподобный робот (б)

На основе моделей нелинейных осцилляторов Matsuoka и Kuramoto [2,3] были предложены подходы к реализации ритмичных двигательных функций змееподобного робота и предложен способ их коррекции в результате взаимодействия с препятствиями.

При реализации управления сервоприводами змееподобного робота для каждой из двух плоскостей (по восемь сервоприводов в каждой) предназначена своя независимая сеть.

В соответствии с моделями сетей предусмотрено влияние противоположных нейронов соседних нелинейных осцилляторов друг на друга. Также, сеть закольцована (последние нейроны соединены с первыми). Математическое моделирование производилось в среде MatLab. При работе с дифференциальными уравнениями был использован метод Эйлера.

Графики зависимости выходной переменной (пропорциональной углу поворота сервопривода соответствующего звена) от относительной величины времени для каждого нелинейного осциллятора сети приведены на рисунке 2.

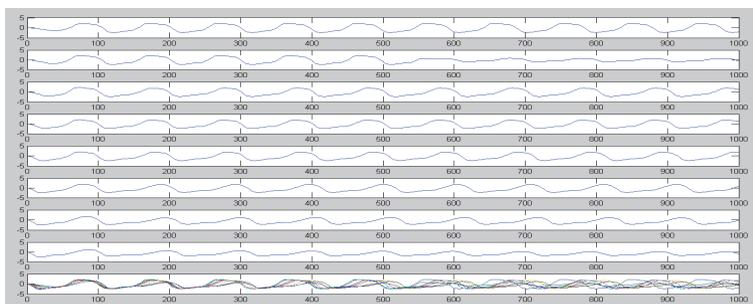


Рисунок 2 – Результат работы сети нелинейных осцилляторов

На основе моделей разработаны алгоритмы и программное обеспечение для перемещения змееподобного робота путем реализации ритмичных бегущих волн посредством центрального генератора шаблонов (CPG) с учетом влияния препятствий.

1. Алейников А.Ю., Афонин А.Н. Исследование поведения змееподобного робота для инспекции трубопроводов в условиях отказа звеньев // Проектирование машин, роботов и мехатронных систем. Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции – Орел: ОГУ имени И. С. Тургенева, 2017, С. 11-12.
2. Carlos GARCIA-SAURA. Central Pattern Generators for the control of robotic systems. independent Study Option report, April 2015MSc in Computing (Spec. in Artificial Intelligence) Imperial College London.
3. A. Crespi and A.J. Ijspeert. Amphibot II: An Amphibious Snake Robot that Crawls and Swims using a Central Pattern Generator. In Proceedings of the 9th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR 2006), pages 19–27, 2006.

N.V. Bykov, N.S. Vlasova, M.Yu. Gubanov
**A WALL-CLIMBING ROBOT WITH A MAGNETIC-TAPE
ADHESION MECHANISM**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
bykov@bmstu.ru

In most cases, the existing adhesion methods of wall-climbing robots (WCRs) to vertical surfaces limit the possible set of these surfaces [1-3]. The same methods that provide more versatile adhesion to various materials are at the initial stage of research and development. This circumstance does not allow creating a working prototype of WCR meeting other requirements: autonomy of power supply, large payload capacity, low level of generated noise, etc.

This paper proposes an alternative combined adhesion method to provide a WCR more universal adhesion to various materials. The method is based on the use of flexible magnetic adhesive tape to ensure the adhesion of the tape with a vertical surface and a WCR with the magnetic tape. Holding and climbing of WCR on the magnetic tape, fixed by the robot in the process of movement, occurs with the help of the developed tracked locomotion mechanism. Permanent magnets are placed in the tracks of the WCR interacting with the tape as the robot climbs along a vertical surface. It is noteworthy that without a magnetic tape, a robot can be used to move around metal surfaces.

A general view of the WCR prototype with a magnetic-tape adhesion mechanism and a tracked locomotion mechanism is shown in Fig. 1.

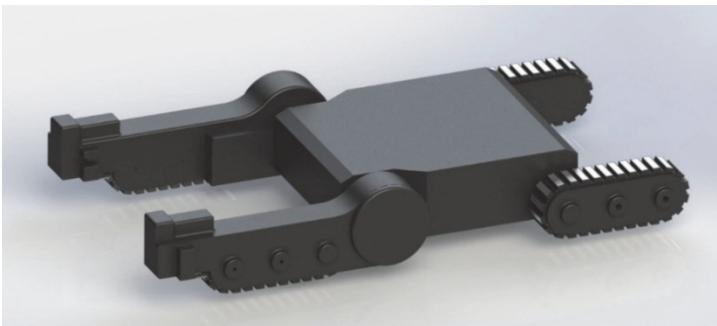


Figure 1 – A conception of the wall-climbing robot

To determine the adhesive strength characteristics of the proposed method, three series of experimental studies were conducted. Initially, the properties of passive magnets and magnetic tapes were investigated. Then the adhesion force of WCR prototype with the working surface was measured. At the end, studies were carried out on the movement of the robot prototype on a vertical surface.

Experimental studies of the magnetic properties of the proposed adhesion and locomotion mechanism showed its efficiency. Also, from experimental studies were obtained quantitative characteristics of the interaction of WCR with tape, used in the construction of its mathematical model.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-29-09596 ofi-m).

1. A survey of climbing robots: locomotion and adhesion / B. Chu, K. Jung, C.-S. Han, D. Hong // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2010. Vol. 11 (4). P. 633-647.
2. Bisht R.S., Alexander S.J. Mobile robots for periodic maintenance and inspection of civil infrastructure: a review // Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM 2013). Roorkee, India, 2013. P. 1050-1057.
3. Silva M.F., Machado J.A.T., Tar J.K. A survey of technologies for climbing robots adhesion to surfaces // Proceedings of the 6th International Conference on Computational Cybernetics (ICCC 2008). Stara Lesná, Slovakia, 2008. P. 127-132.

Н.В. Быков, Н.С. Власова, М.Ю. Губанов
**РОБОТ С МАГНИТНО-ЛЕНТОЧНЫМ ПРИНЦИПОМ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ**

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва
bykov@bmstu.ru

Существующие методы и механизмы адгезии роботов вертикального перемещения (РВП) к рабочим поверхностям не универсальны [1-3], поскольку методы, обеспечивающие универсальное сцепление в отношении различных материалов, находятся на начальной стадии исследований и разработки. Это обстоятельство не позволяет создать действующий прототип РВП, отвечающий и иным требованиям: автономность питания, большая грузоподъемность, низкий уровень создаваемого шума и др.

В данной работе предлагается альтернативный гибридный метод сцепления РВП для обеспечения более универсальной адгезии к различным материалам. Метод основан на использовании гибкой магнитной клейкой ленты, сцепление которой с поверхностью осуществляется с использованием клейкого слоя. Удерживание и перемещение РВП по магнитной ленте, закрепляемой роботом в процессе движения, происходит с помощью гусеничного механизма перемещения. В траках гусениц РВП размещены постоянные магниты, взаимодействующие с лентой в процессе движения робота по вертикальной поверхности. Следует отметить, что без магнитной

ленты робот может использоваться для перемещения по металлическим поверхностям.

Общий вид прототипа РВП с магнитно-ленточным механизмом адгезии и гусеничным механизмом перемещения показан на рис. 1.

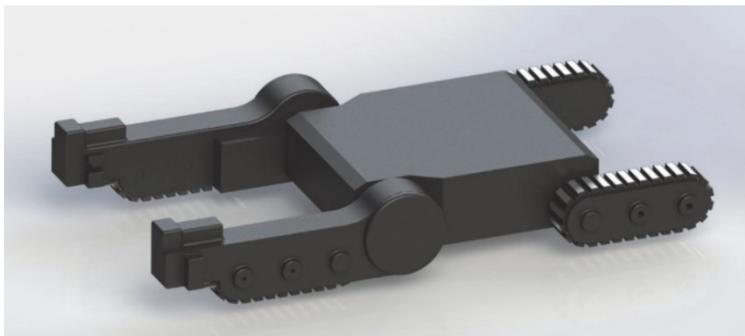


Рисунок 1 – Общий вид РВП

Для определения силовых характеристик предложенного метода сцепления были проведены три серии экспериментальных исследований. Вначале исследовались свойства пассивных магнитов и магнитных лент. Затем измерялась сила сцепления макета РВП с поверхностью. В конце проводились исследования движения макета робота по вертикальной поверхности.

Проведенные экспериментальные исследования магнитных свойств предложенного механизма сцепления и перемещения РВП показали его работоспособность. Также из экспериментальных исследований были получены количественные характеристики взаимодействия РВП с лентой, использованные при построении математической модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-09596 офи-м).

1. A survey of climbing robots: locomotion and adhesion / B. Chu, K. Jung, C.-S. Han, D. Hong // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2010. Vol. 11 (4). P. 633-647.
2. Bisht R.S., Alexander S.J. Mobile robots for periodic maintenance and inspection of civil infrastructure: a review // Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM 2013). Roorkee, India, 2013. P. 1050-1057.
3. Silva M.F., Machado J.A.T., Tar J.K. A survey of technologies for climbing robots adhesion to surfaces // Proceedings of the 6th International Conference on Computational Cybernetics (ICCC 2008). Stara Lesná, Slovakia, 2008. P. 127-132

R.V. Sablin, M.D. Zhumabek, D.T. Kulikov
**ROBOTIC PLATFORM WITH A MECHANICAL MANIPULATOR
WITH CONTROL ON SMARTPHONE**

TUSUR, Tomsk, Russia
mukhamedzh@gmail.com, jv3791908@gmail.com,
snou_2000@bk.ru

Designing a multifunctional device is always a challenge. Not an exception to the layout of the robotic platform from prefabricated components from different manufacturers. The basic principles of creating a robotic arm-mounted on a six-wheeled platform with DC motors are outlined [1]. The platform is shown in Figure 1.

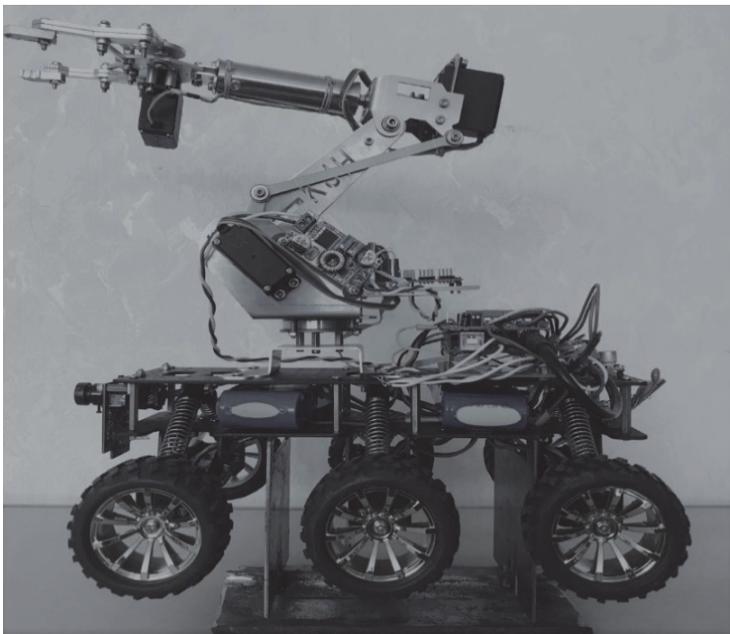


Figure 1 – Robotic Platform

The Arduino Mega 2560 microcontroller issues control commands to the motor drivers according to a program that processes data from a video camera and selects a motion scenario. The movements of the arm of the manipulator are carried out with the help of five servo drives, each of which is responsible for one separate structural element. The robot can be controlled automatically by using the camera and the program's algorithm described in [2-3] and automated mode, that is, remotely controlled by a simple client-server part of the project whose interface is shown in Figure 2.



Figure 2 – Client program interface

The designed device is necessary for the participation of our team in the Extreme Robotics Cup.

1. Shestеров I.A. Robotic platform with a mechanical manipulator based on the Arduino MEGA 2560 // Collection of selected articles of the scientific session TUSUR, Tomsk, May 16-18, 2018: in 3 parts. - Tomsk: В-Спектр, 2018 - Part 1. - P. 141-145
2. Vinnik A.E., Khabibulina N.Yu. Simulation of the mobile robot movement process // Electronic tools and control systems: materials of reports of the XIV International Scientific and Practical Conference (November 28–30, 2018): at 2 pm - Part 2. - Tomsk: V-Spectr, 2018. - Pp. 251-254.

3. Izyumov A.A., Petrov V.P., Sakhabutdinov A.E. The list of obstacles that can be overcome by a robotic platform based on Arduino Mega 2560 Electronic tools and control systems: reports of the XIV International Scientific Practical Conference (November 28–30, 2018): at 2 pm - Part 2. - Tomsk: B- Spectrum, 2018. - 314 p., P. 202-206.

Р.В. Саблин, М.Д. Жумабек, Д.Т. Куликов
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА С МЕХАНИЧЕСКИМ
МАНИПУЛЯТОРОМ С УПРАВЛЕНИЕМ НА СМАРТФОНЕ**

ТУСУР, г. Томск
mukhamedzh@gmail.com, jv3791908@gmail.com ,
snou_2000@bk.ru

Проектирование многофункционального устройства всегда является сложной задачей. Не исключение компоновка роботизированной платформы из готовых компонентов разных производителей. Основные принципы создания роботизированной руки-манипулятор, установленной на шестиколесную платформу с моторами постоянного тока изложены [1]. Платформа представлена на рисунке 1.

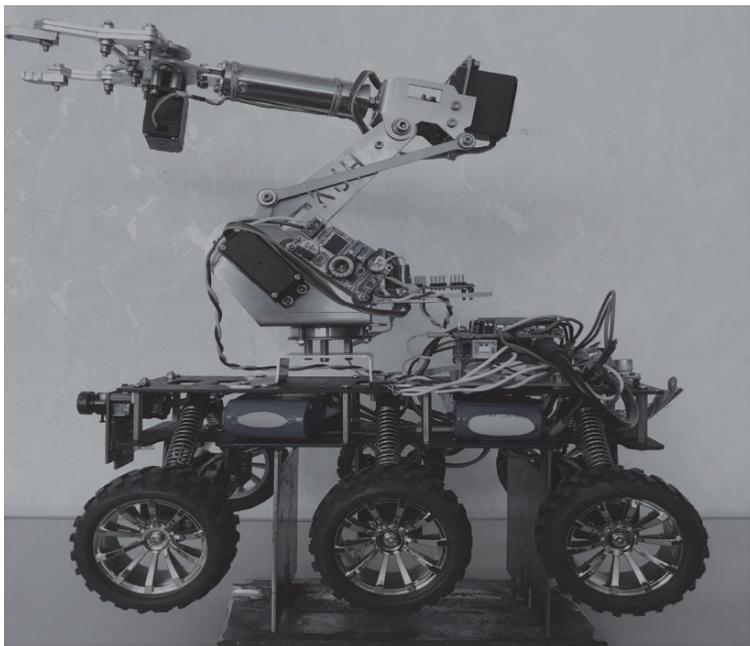


Рисунок 1 – Робототехническая платформа

Микроконтроллер Arduino Mega 2560 выдает команды управления драйверам двигателей согласно программе которая обрабатывает данные от видео камеры и выбирает сценарий движения. Движения руки манипулятора осуществляется с помощью пяти сервоприводов, каждый из которых отвечает за один отдельный элемент конструкции. Управление роботом возможно в автоматическом режиме для этого используется камера и алгоритм работы программы изложенный в [2-3] и автоматизированном режиме т.е. на расстоянии управление осуществляется с помощью простой клиент-серверной части проекта интерфейс которой представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Интерфейс программы клиента

Спроектированное устройство необходимо для участия нашей команды в кубке Экстремальной робототехники.

1. Шестеров И.А. Робототехническая платформа с механическим манипулятором на базе Arduino MEGA 2560 // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР, Томск, 16–18 мая 2018 г.: в 3 частях. – Томск: В-Спектр, 2018 – Ч. 1. – С. 141-145
2. Винник А.Е., Хабибулина Н.Ю. Моделирование процесса движения мобильного робота // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции (28–30 ноября 2018 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2018. – С. 251-254.
3. Изюмов А.А., Петров В.П., Сахабутдинов А.Е. Перечень препятствий, которые способна преодолеть роботизированная платформа на базе Arduino Mega 2560 Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции (28–30 ноября 2018 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2018. – 314 с., С. 202-206.

V.G. Chashchukhin
**ORIENTATION SYSTEM OF THE AERODYNAMICALLY
ADHESIVE WALL CLIMBING ROBOT**

Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow
ketlk@mail.ru

A promising method of autonomous wall climbing robot's fixation on surface is aerodynamically adhesion due to the creation of underpressure in the vacuum chamber located under the bottom of the robot [1]. The vacuum chamber is formed by the bottom of the robot body and the displacement surface. The gap between the robot's body and the surface should be minimized to minimize the required air flow. The underpressure in the vacuum chamber is created by a fan driven by an electric motor. Inadequate underpressure in the vacuum chamber can lead to the separation of the robot from the surface, or to its tilting or sliding, that ultimately will lead to a fall. Excessive underpressure will lead to increased energy consumption of the on-board power source and reduced battery life. One of the drawbacks of this type of fixation on the surface is the increased vibration of the robot's body, due to the high frequency of rotation of the fan impeller, affecting the readings of sensors installed on board. It is necessary to know robot's orientation on the plane and the angle of inclination of the plane to the horizon to determine the necessary equilibrium conditions on the displacement surface and control the movement of the robot [2]. The robot is equipped with two wheels with differential drive and a turning wheel to ensure balance on the surface. Drive wheels fitted tires with increased friction coefficient. The turning wheel on the contrary has a negligible friction coefficient. Since the movements of the robot are rather slow, we can neglect the acceleration of the robot when moving and consider its movements quasi-static. To determine the orientation angles, it is proposed to use a triaxial accelerometer mounted on the body of the robot. In the quasistatic mode, the corresponding component of the gravitational acceleration is measured for each axis of the accelerometer. The effect of vibrations on the accelerometer readings was studied at various orientations of the robot and at different robot's rotation speeds of the fan impeller. A method is proposed for processing data from an accelerometer by using a moving average filter, which is widely used in various fields. [3-5]. The algorithm of the method is implemented on an onboard microcontroller operating in real time. The effect of deformation of tires on accelerometer readings is identified. A method for obtaining the orientation angles of a robot based on accelerometer readings is described. The error of determining the orientation of the robot is estimated at different robot's orientation on the plane and the angles of plane's inclination to the horizon at different speeds of rotation of the fan impeller. Time-frequency analysis

of the data obtained from the accelerometer is performed. It is revealed that the error of orientation measurement essentially depends on the speed of rotation of the impeller. The use of a moving average filter allows to reduce the noise of the accelerometer readings to the required level in real-time calculations. As the onboard controller making calculations used Arduino uno board. Thus, the data coming from the accelerometer become suitable for use in movement control and calculating the conditions for ensuring the equilibrium of the robot.

The work was performed on the topic of the state task № AAAA-A17-117021310384-9 and was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 18-01-00650 A).

1. D. Longo and G. Muscato, "The Alicia 3 Climbing Robot: a Three-module Robot for Automatic Wall Inspection," IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 13, no. 1, pp. 42–50, 2006.
2. A.M. Nunuparov, V.G. Chashchukhin The control system of an autonomous wall climbing robot with aerodynamic adhesion// Proc. of the CLAWAR 2017, Porto, Portugal, September 11 – 13, 2017, pp. 118-126
3. L. Xiong, F. Zhuo, X. Liu, F. Wang, and Y. Chen, "Optimal design of moving average filter and its application in distorted grid synchronization," in Proceedings of the 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Montreal, Canada, 2015, pp. 3449–3454.
4. R. Irani, K. Nasrollahi and T. B. Moeslund, "Improved pulse detection from head motions using DCT," in Proceedings of the 2014 International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), Lisbon, Portugal, 2014, pp. 118–124.
5. A. Garfinkel, Y.-H. Kim, O. Voroshilovsky, Zh. Qu, J.R. Kil, M.-H. Lee, H. S. Karagueuzian, J. N. Weiss, and P.-Sh. Chen, "Preventing ventricularfibrillation by flattening cardiac restitution," Proceedings of the National Academy of Sciences USA, vol. 97, no. 11, pp. 6061–6066, 2000.

В.Г. Чашухин
СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ РОБОТА ВЕРТИКАЛЬНОГО
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ПРИЖАТИЕМ К
ПОВЕРХНОСТИ

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва
ketlk@mail.ru

Для создания автономных малогабаритных роботов вертикального перемещения перспективным способом фиксации на поверхности является прижатие за счет создания разрежения в вакуумной камере, расположенной под днищем [1]. Вакуумная камера образована нижней частью корпуса робота и поверхностью перемещения. Между корпусом робота и поверхностью неизбежно образуется зазор, величину которого нужно минимизировать для минимизации требуемого расхода воздуха. Разрежение в вакуумной камере создается посредством вентилятора, приводимого в действие электрическим двигателем. Недостаточное разрежение в вакуумной камере может привести к отрыву робота от поверхности, либо к его опрокидыванию или соскальзыванию, что в конечном итоге приведет к падению. Чрезмерная величина разрежения приведет к повышенному расходу энергии бортового источника питания и уменьшению времени автономной работы. Одним из недостатков такого вида фиксации на поверхности является повышенная вибрация корпуса робота, обусловленная большой частотой вращения крыльчатки вентилятора, влияющая на показания датчиков, установленных на борту. Для определения необходимых условий равновесия на поверхности перемещения и управления движением робота требуется знать его ориентацию на плоскости и угол наклона плоскости к горизонту [2]. Робот снабжен двумя колесами с дифференциальным приводом и поворотным колесом для обеспечения равновесия на поверхности. Приводные колеса снабжены шинами с повышенным коэффициентом трения. Поворотное колесо напротив обладает пренебрежимо малым коэффициентом трения. Так как движения робота являются достаточно медленными, то можно пренебречь ускорением робота при перемещении и считать его движения квазистатическими. Для определения углов ориентации предлагается использование трехосного акселерометра, установленного на корпусе робота. Исследовано влияние вибраций на показания акселерометра при различной ориентации робота в пространстве и при различных скоростях вращения крыльчатки вентилятора. Предложен метод обработки данных, поступающих с акселерометра, посредством применения фильтра скользящего среднего, который широко применяется в различных областях [3-5]. Алгоритм метода реализован

на бортовом микроконтроллере, работающем в режиме реального времени. Выявлено влияние деформации шин колес на показания акселерометра. Описан метод получения углов ориентации робота исходя из показаний акселерометра. Оценена ошибка определения ориентации робота при различных положениях робота на плоскости и углах наклона плоскости к горизонту при различных скоростях вращения крыльчатки вентилятора. Проведен частотно-временной анализ данных, полученных с акселерометра. Выявлено, что ошибка измерения ориентации существенно зависит от скорости вращения крыльчатки. Применение фильтра скользящего среднего позволяет уменьшить шум показаний акселерометра до требуемого уровня при вычислениях в режиме реального времени. В качестве бортового контроллера производящего вычисления использовалась плата Arduino Uno. Таким образом, данные поступающие с акселерометра становятся пригодными для использования в управлении движением и вычисления условий обеспечения равновесия робота.

Работа выполнена по теме государственного задания (№ госрегистрации АААА-А17-117021310384-9) при поддержке гранта РФФИ № 18-01-00650 А.

1. D. Longo and G. Muscato, "The Alicia 3 Climbing Robot: a Three-module Robot for Automatic Wall Inspection," IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 13, no. 1, pp. 42–50, 2006.
2. A.M. Nunuparov, V.G. Chashchukhin The control system of an autonomous wall climbing robot with aerodynamic adhesion// Proc. of the CLAWAR 2017, Porto, Portugal, September 11 – 13, 2017, pp. 118-126
3. L. Xiong, F. Zhuo, X. Liu, F. Wang, and Y. Chen, "Optimal design of moving average filter and its application in distorted grid synchronization," in Proceedings of the 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Montreal, Canada, 2015, pp. 3449–3454.
4. R. Irani, K. Nasrollahi and T. B. Moeslund, "Improved pulse detection from head motions using DCT," in Proceedings of the 2014 International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), Lisbon, Portugal, 2014, pp. 118–124.
5. A. Garfinkel, Y.-H. Kim, O. Voroshilovsky, Zh. Qu, J.R. Kil, M.-H. Lee, H. S. Karagueuzian, J. N. Weiss, and P.-Sh. Chen, "Preventing ventricular fibrillation by flattening cardiac restitution," Proceedings of the National Academy of Sciences USA, vol. 97, no. 11, pp. 6061–6066, 2000.

D.Y. Andrianov, N.V. Shkurov, P.S. Golubev
SNOWMOBILE DRONE "WHITE CAT"

*Volga State University of Technology, VSUT, Volgatche,
Yoshkar-Ola, Russia
79877063699@yandex.ru*

The report analyzes the possibility of creating a snowmobile drone. It is shown that over the past decade the trend of development of the Northern territories is clearly manifested. As a result, there is a new task to develop advanced models of transport equipment and technologies.

The problem of creating a snowmobile drone is presented. Design solutions for some solutions are given.

The stability stabilization system is considered separately. The necessity of its application is shown. The constructive method of realization of this system, and also some mathematically calculated indicators necessary for a control system and engineering calculations is considered.

The results are the basis of the developed drone "WHITE CAT". The project implementation plan and the results of the completed stages are presented.

Д.Ю. Андрианов, Н.В. Шкурков, П.С. Голубев
СНЕГОХОДНЫЙ БЕСПИЛОТНИК "БЕЛЫЙ КОТ"

*Поволжский государственный технологический университет,
ФГБОУ ВО «ПГТУ», Волгатех, Йошкар-Ола
9877063699@yandex.ru*

В докладе анализируется возможность создания снегоходного беспилотника. Показано, что на протяжении последнего десятилетия ярко проявляется тенденция, освоения северных территорий. В следствии чего стоит новая задача по разработке перспективных образцов транспортной техники и технологий.

Представлены проблема создания снегоходного беспилотника. Приведены конструкторские решения для решения некоторых.

Отдельно рассмотрена система стабилизации устойчивости. Показана необходимость ее применения. Рассмотрен конструктивный метод реализации данной системы, а также некоторые математически рассчитанные показатели необходимые для системы управления и инженерных расчетов.

Полученные результаты положены в основу разрабатываемого беспилотника "БЕЛЫЙ КОТ". Приведен план реализации проекта, и итоги по завершенным этапам.

V.K. Abrosimov, V.V. Eliseev
**CURRENT STATE AND DEVELOPMENT POTENTIAL
FOR THE NATIONAL AGRICULTURAL ROBOTICS**

*Scientific and Technical Center “RoboPROB”, Ltd., Moscow
avk787@yandex.ru*

The issues of making robots in the Russian Federation of various types and designation for the agriculture needs are reviewed. The primary focus is on agricultural robots intended for crop growing.

Agricultural robots will be used in solving precision farming issues making a significant competitive advantage for the agricultural enterprises in the next 15-20 years. Currently, negative trend in national robotics gap with foreign developments, which are still at the stage of experimental and pilot projects, is being formed.

Domestic developments from large agricultural machine engineers in the field of agricultural robotics are essentially oriented on innovations actively introduced abroad; the main one is a technology of automatic parallel driving.

Special unmanned aerial vehicles are also among the promising agricultural robots. Although very useful but limited functionality will be developed on their basis, aimed mainly at solving informational but not production issues.

The requirements for different types and areas of agricultural robots from different points of view expressed by agricultural producers are formulated. Along with traditional irrigation and differentiated fertilization, the priority tasks cover the following new tasks of robotic farming: soil sampling, weed destruction, plant diseases recognition, crops pests control, etc. The reasons for the gaps with the world trends in robotics development and precision farming are systematized. The necessity to improve intelligence of agricultural robot control systems with migration to autonomous modes of operation is justified. The main directions for research and technical innovations use to create domestic agricultural robots are determined.

It is justified that there is a certain technical and methodological “niche” within which it is possible to obtain not only import substituting, but also export-oriented solutions. This “niche” includes: a) in the methodological terms - development of the models for plant diseases recognition, pests and weeds detection aggregated with agrocytosis models and b) in the technical terms - making small agricultural robots with intelligent attachable equipment, including specialized manipulators for solving precision farming issues.

В.К. Абросимов, В.В. Елисеев
**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
НАЦИОНАЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
РОБОТОТЕХНИКИ**

*ООО Научно-технический центр «РобоПРОБ», Москва
avk787@yandex.ru*

Рассматривается проблематика создания в Российской Федерации роботов различного вида и назначения для нужд сельского хозяйства. Использование агроботов при решении задач точного земледелия будет составлять существенное конкурентное преимущество сельскохозяйственных предприятий в ближайшие 15-20 лет.

Основное внимание уделено агроботам для растениеводства. Отечественные разработки крупных сельхозмашиностроителей в области сельскохозяйственной робототехники по существу ориентированы на следование за активно внедряемыми за рубежом инновациями; к числу основных относится технология автоматического параллельного вождения. Однако, в настоящее время формируется негативный тренд отставания национальной робототехники от зарубежных разработок, которые также пока находятся в стадии экспериментальных и опытных разработок. Систематизированы причины отставания от мировых трендов развития робототехники и точного земледелия.

Сформулированы требования к разнотипным и разнородным агроботам с точки зрения сельхозпроизводителя. К числу приоритетных задач наряду с традиционными орошением, дифференцированным внесением удобрений отнесены новые задачи роботизированного земледелия: взятия проб почвы, уничтожения сорняков, распознавания болезней растений, борьбы с вредителями посевов и др.

К перспективным агромашинам отнесены три группы агроботов: большие с весом свыше одной тонны для решения сельскохозяйственных задач на этапах посевной и уборки урожая; малые с весом до одной тонны для решения задач, прежде всего точного земледелия и специализированные воздушные агроботы на основе беспилотных летательных аппаратов с реализацией ограниченного функционала, направленного в основном на решение информационных, но не производственных задач.

Обоснована необходимость повышения интеллектуальности систем управления агроботами с миграцией к автономным режимам функционирования.

Определены основные направления исследования и использования технических инноваций для создания отечественных агроботов. Обосновано, что существует определенная техническая и методологическая "ниша", в рамках которой возможно получение не только импортозамещающих, но также и экспортно-ориентированных решений. Эта "ниша" включает в себя: а) в методологическом плане-разработку моделей распознавания болезней растений, обнаружения вредителей и сорняков, агрегированных с моделями агроциноза и б) в техническом плане-создание малых сельскохозяйственных роботов с интеллектуальными системами управления и навесного оборудования, включая специализированные манипуляторы, для решения задач точного земледелия.

D.S. Popov, O.A. Shmakov
**REQUIREMENTS FOR REMOTE CONTROL SYSTEMS
FOR GROUND-BASED MOBILE ROBOTS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
d.popov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

At present, the world market of service robotics is dramatically increasing. Ground-based mobile robots are the most widespread category of service robots. The vast majority of mobile robots do not have full autonomy and require operator control.

The article provides a brief overview of remote control systems (RCS), which are a part of the ground-based mobile robotic systems, the analysis of the main characteristics and requirements for the RCS.

Due to a wide variety of work performed and taking into account the modular construction principle, it is advisable to divide any mobile robotic system into main functional parts:

- a basic robotic chassis on which the system is developed,
- a payload, directly located on the robotic chassis and bearing the executive function,
- a remote control station which includes a remote control unit (RCU) for control of the system via a communication channel (radio or wired).

Based on this division, the main requirements for the RCS are grouped and analyzed:

- common:
 - 1) a modular construction principle;
 - 2) reliability;
 - 3) resistance to external factors;
- related to a robotic chassis:
 - 1) an operating time in terms of power supply, including the option of power supply by cable;
 - 2) a level of autonomy, including a presence of navigation modules, auto-return modules, etc.;
- related to a payload: payload connectivity, standard interfaces, etc.
- related to RCU:
 - 1) ergonomics;
 - 2) an operating time;
 - 3) a delay in displaying a video on a monitor and a mobile robot response time to commands;

- related to a remote control channel:
 - 1) a distance of operation;
 - 2) a possibility of operation of several robots in one working zone;
 - 3) an information security.

The brief review allows assessing the current capabilities of RCS and the trends in customer and consumer requirements.

Д.С. Попов, О.А. Шмаков
**СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К
СИСТЕМАМ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ
МОБИЛЬНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ
НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
d.popov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

В настоящее время рынок сервисной робототехники стремительно развивается. Наиболее распространённой категорией являются наземные мобильные роботы (МР). Подавляющее большинство МР не обладают полной автономностью и требуют контроля оператора.

В статье приводится краткий обзор систем дистанционного управления (СДУ), входящих в состав мобильных робототехнических комплексов наземного базирования (МРК), анализ основных характеристик и предъявляемых к СДУ требований.

Вследствие широкого разнообразия выполняемых работ и принимая во внимание модульный принцип построения роботов, любой МРК целесообразно разделить на основные функциональные части:

- базовое робототехническое шасси, на основе которого разработан комплекс,
- целевую нагрузку, непосредственно расположенную на шасси и несущую основную исполнительную функцию,
- пост управления, включающий в состав пульт дистанционного управления (ПДУ), для удаленного управления комплексом по каналу связи (радио или проводному).

Основываясь на данном разделении, сгруппированы и проанализированы основные требования к СДУ:

- общие:
 - 1) модульный принцип построения системы;
 - 2) надежность;
 - 3) устойчивость к внешним воздействующим факторам;

- относящиеся к робототехническому шасси:
 - 1) время работы с точки зрения энергообеспечения, в том числе в варианте энергообеспечения по кабелю;
 - 2) уровень автономности, включая наличие модулей навигации, автовозврата и пр.;
- относящиеся к целевой нагрузке: возможности подключения, стандартные интерфейсы и пр.
- относящиеся к посту управления:
 - 1) эргономические показатели ПДУ;
 - 2) время работы;
 - 3) задержка отображения видеоинформации на мониторе пульта управления и время реакции МР на команды;
- требования к каналу дистанционного управления:
 - 1) дальность управления;
 - 2) возможность работы нескольких МР в одной рабочей зоне;
 - 3) защищенность, информационная безопасность.

Проведенный краткий обзор позволяет оценить современные возможности СДУ и тенденции изменения требований заказчиков и потребителей.

O.B. Shagniev, S.F. Burdakov
THE ROBOT VIBRATION CONTROL
UNDER EXTREME LOADS
DURING MACHINING

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
shagniev_ob@spbstu.ru*

The report discusses a class of robotic machining processes automation problems, such as grinding, turning, milling, etc. The great diversity and complexity of physicomachanical processes [1, 2], including thermodynamic processes in the tool-machining surface contact zone, makes it necessary, in addition to the force sensation using the elastic tool suspension[3], to use various elements of artificial intelligence [4, 5]. This is necessary not only because of the complexity of the models, but also with a priori uncertainty in a wide range of modes of contact interaction.

In practice, one of the most difficult problems with blade metal processing is the occurrence of regenerative self-excited oscillations («chattering») [6], which lead to instability of the process. According to the existing hypotheses, the cause of self-excited oscillations is the formation of a self-sustaining oscillatory mechanism in the process of chip formation. The limited stiffness of the tool causes the relative movements of the tool and the workpiece caused by the interaction forces, which in turn can lead to the formation of a wavy cutting surface with each new cutter pass. In this case, the wavy surface left on the previous turn of the workpiece is removed during the next pass. This mechanism leads to the formation of waves on both sides of the chip, the thickness of which depends on the phase shift between them. As a result, cutting forces can increase without limit.

Many studies focuses is on the design features of CNC machines. This seriously limits the ability to quickly adjust the parameters of the machining in the online mode. From the point of view of the control system flexibility and the possibility of spatial processing of the arbitrary profile parts, the using of multi-axis robots with a tool installed in an elastic suspension is perspective. Elastic suspension provides a force sensation of the robot in at least three axes. This configuration allows to use the standard robot manipulator in the hybrid position-power control mode, in which robot moves taking into account the contact forces of interaction between the tool and the working surface. Installation the tool in an elastic suspension provides additional opportunities for organizing adaptation contours that can predict the possible loss of machining process stability and provide the necessary ratio of cutting parameters.

We investigate the possibility of the axial depth of cut automatic correction when signs of dynamic stability loss appear. In this case, the corresponding time moment is detected using the amplitude spectrum of the horizontal cutting force. Amplitude spectrum is obtained using the fast Fourier transform. The results of computer simulation of the adaptation contour are presented.

1. Siddhpura M., Paurobally R. A review of chatter vibration research in turning // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2012. Vol. 61. P. 27-47.
2. Filippov A.V., Rubtsov V.E., Tarasov S.Yu., Podgornykh O. A., Shamarin N. N. Detecting transition to chatter mode in peakless tool turning by monitoring vibration and acoustic emission signals // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 95. P. 157-169.
3. Burdakov S.F., Shagniyev O.B. Modeli mekhaniki v zadache upravleniya silovym vzaimodeystviyem robota s poverkhnostyu neopredelenного profilya [Mechanics models in the control problem of the force interaction between a robot and a free-formed surface]// Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye. 2015. Iss. 4. P. 68-79.
4. Budak E. Maximizing Chatter Free Material Removal Rate in Milling through Optimal Selection of Axial and Radial Depth of Cut Pairs// CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2005. Vol. 54. Iss. 1. P. 353 – 356.
5. Altintas Y. Metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design. 2nd-ed. Cambridge University press. 2012. 382 p.

О.Б. Шагниев, С.Ф. Бурдаков
**УПРАВЛЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ РОБОТА
В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК
ПРИ МЕХАНООБРАБОТКЕ**

*Санкт-Петербургский Политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург
shagniev_ob@spbstu.ru*

В докладе рассматривается класс задач, связанных с автоматизацией посредством оучувствлённых роботов процессов механообработки, таких как шлифование, точение, фрезерование и т.д. Большое многообразие и сложность физико-механических процессов [1, 2], включая процессы термодинамики в зоне контакта инструмента

и обрабатываемой поверхности, делает необходимым помимо силового очувствления, которое реализуется с помощью упругого подвеса инструмента [3], использовать различные элементы искусственного интеллекта [4, 5]. Подобная необходимость связана не только со сложностью моделей, но и с априорной неопределённостью в широком диапазоне режимов контактного взаимодействия.

На практике одной из наиболее сложных проблем при лезвийной обработке металла является возникновение регенеративных автоколебаний (в англоязычной литературе «chattering») [6], которые приводят к потере устойчивости процесса. Согласно существующим гипотезам, причина возникновения таких автоколебаний состоит в формировании самоподдерживающегося колебательного механизма в процессе стружкообразования. Конечная жёсткость инструмента обуславливает возникновение относительных перемещений инструмента и заготовки, вызываемых силами взаимодействия, что в свою очередь может приводить к формированию волнистой поверхности резания при каждом новом проходе резца. При этом волнистая поверхность, оставленная на предыдущем обороте заготовки, удаляется при следующем проходе. Данный механизм приводит к формированию волн с обеих сторон стружки, толщина которой зависит от фазового сдвига между ними. В результате этого силы резания могут неограниченно возрастать.

В докладе приведены результаты исследования вибрационной нагруженности элементов системы «робот-инструмент-поверхность» в норме и в экстремальных ситуациях, в которых возможны высокие уровни вибраций, заклинивания и даже поломка элементов системы. В докладе представлены модели, описывающие наблюдаемые на практике в подобных системах явления, связанные с автоколебаниями, результаты натурного эксперимента, а также предложены методика разработки адаптивных систем управления процессами резания, позволяющих вести механообработку на предельных технологических параметрах для обеспечения максимальных точности и производительности.

1. Siddhpura M., Paurobally R. A review of chatter vibration research in turning // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2012. Vol. 61. P. 27-47.
2. Filippov A.V., Rubtsov V.E., Tarasov S.Yu., Podgornykh O. A., Shamarin N. N. Detecting transition to chatter mode in peakless tool turning by monitoring vibration and acoustic emission signals // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 95. P. 157-169.

3. Бурдаков С. Ф., Шагниева О. Б. Модели механики в задаче управления силовым взаимодействием робота с поверхностью неопределенного профиля// НТВ СПбПУ. 2015. №4. С. 68-79.
4. Chuangwen X., Jianming D., Yuzhen C., Huaiyuan L., Zhicheng S., Jing X. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration// Advances in Mechanical Engineering. 2018. Vol. 10(1). P. 1–14.
5. Lamraoui M., Barakat M., Thomas M., El Badaoui M. Chatter detection in milling machines by neural network classification and feature selection// Journal of Vibration and Control. 2015. Vol. 21(7). P. 1251–1266.
6. Altintas Y. Metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design. 2nd-ed. Cambridge University press. 2012. 382 p.

I.A. Kudryavtsev, P.S. Golubev
**ELECTRIC DRIVE MODULE WITH FUNCTIONS
STEERING AND SUSPENSION FOR ROBOTIC
TRANSPORT PLATFORMS**

*Volga State University of Technology, VSUT,
Volgatech, Yoshkar-Ola, Russia
79877063699@yandex.ru*

Field of application – robotic transport platforms, including transformable wheelchair transport platforms (wheelchair type) with increased maneuverability and cross-country parameters.

The electric drive module (EPM) has three degrees of mobility (see Fig. 1): rotation of the wheel, turning the wheel around the vertical axis and the clearance (suspension).

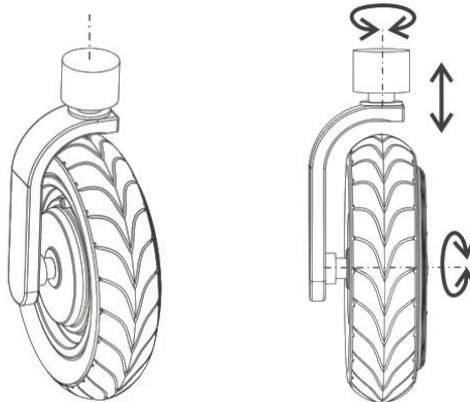


Figure 1 – Electric drive module

EPM is a fully functional mechatronic device with its own information-measuring and control system (IMCS) and is controlled by the commands of the external control system of the platform.

EPM is built on the basis of electromechanical actuators, the design of which uses planetary-pinion transmission.

EPM in comparison with existing analogues has such competitive parameters as dimensions, weight, efficiency of actuators and as a result, EPM as a whole.

The EPM design uses three new patented solutions in the field of planetary-pinion gears.

EPM makes it easy to design three, four and six-wheeled robotic transport platforms designed to solve a variety of tasks that are put in front of ground-based all-terrain drones.

The nearest project in which the new EPM will be applied. All-wheel-drive wheelchair with propulsion, based on the new EPM. It will be able to move off-road (sand, soil, snow, ice), while it will have high maneuverability (straight movement, turns, turns around the vertical axis, sideways movement) (see Fig. 2).

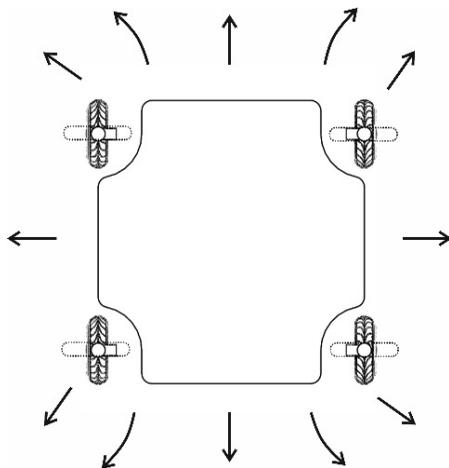


Figure 2 – Possible directions of movements of the wheelchair platform

И.А. Кудрявцев, П.С. Голубев
**ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ МОДУЛЬ С ФУНКЦИЯМИ
ДВИЖИТЕЛЯ РУЛЯ И ПОДВЕСКИ ДЛЯ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЛАТФОРМ**

*Поволжский государственный технологический университет,
ФГБОУ ВО «ПГТУ», Волгатех, Йошкар-Ола
79877063699@yandex.ru*

Область применения – роботизированные транспортные платформы, в том числе трансформируемые инвалидные транспортные платформы (колясочного типа) с повышенными параметрами маневренности и проходимости.

Электроприводной модуль (ЭПМ) имеет три степени подвижности (см. рис. 1): вращение колеса, поворот колеса вокруг вертикальной оси и изменение клиренса (подвеска).

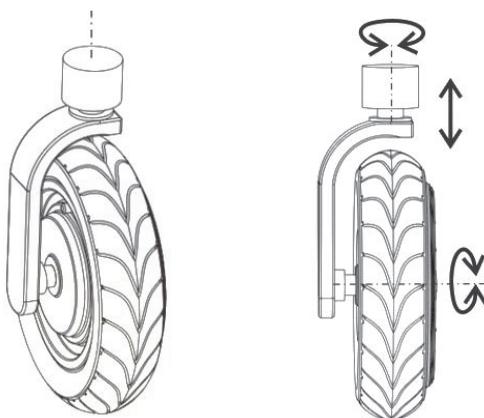


Рисунок 1 – Электроприводной модуль

ЭПМ представляет собой полнофункциональное мехатронное устройство с собственной информационно-измерительной и управляющей системой (ИИУС) и управляется от команд внешней системы управления платформы [1].

ЭПМ построен на основе электромеханических исполнительных механизмов, в конструкции которых используются планетарно-цевочные передачи.

ЭПМ в сравнении с существующими аналогами обладает такими конкурентными параметрами, как: габариты, масса, КПД исполнительных механизмов и как следствие, ЭПМ в целом.

В конструкции ЭПМ использовано три новых запатентованных решения в области планетарно-цевочных передач.

ЭПМ позволяет легко конструировать трех, четырех и шестиколесные роботизированные транспортные платформы, предназначенные для решения разнообразных задач, которые ставятся перед наземными вездеходными беспилотниками.

Ближайший проект, в котором будут применяться новые ЭПМ. Инвалидная полноприводная коляска повышенной проходимости с двигателями, на основе нового ЭПМ. Она будет способна перемещаться по бездорожью (песок, грунт, снег, лед), при этом будет обладать высокой маневренностью (движение прямо, повороты, развороты вокруг вертикальной оси, движение вбок) (см. рис. 2).

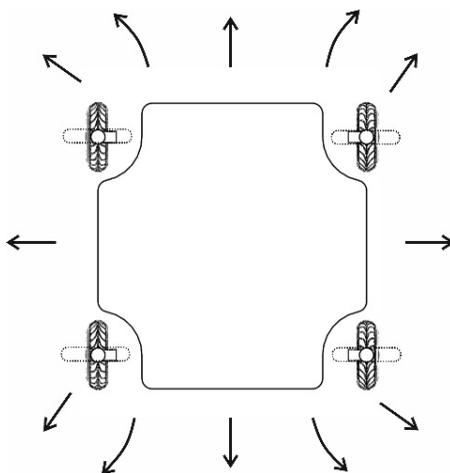


Рисунок 2 – Схема возможных направлений движений платформы инвалидной полноприводной коляски

D.V. Baev
**ANALYSIS OF THE STATE AND USE OF ROBOTIC
SYSTEMS FOR RESCUE OPERATIONS IN
THE RUSSIAN EMERGENCIES MINISTRY**

*3 research centers Institute for Civil Defence and Emergencies,
FGBU VNII GOCHS (FC), Moscow
bbgpresent@mail.ru*

Presentation of the regulatory framework for the development and use of robotic systems (hereinafter – RTK) (systems) for special purposes for emergency rescue operations in the EMERCOM of Russia.

The main tasks solved with the help of RTK:

exploration (including radiation, chemical, biological) and monitoring of the emergency zone;

carrying out loading and unloading and transport works on delivery of technical means and materials to the emergency zone for engineering works;

the execution of the manipulation process works on installation and dismantling of equipment;

work on special treatment (decontamination, degassing) of terrain, buildings and equipment;

fire fighting, including the exploration of the fire, its localization and elimination.

Presentation of the diagram of application of RTC of the fire extinguishing which are on equipment in divisions of EMERCOM of Russia for the period 2010-2018 and application of robotics at elimination of emergency situations of FGKU "Center on carrying out rescue operations of special risk "Leader", the analysis of breakdowns, and also character and types of works.

Conclusions on the problematic issues of the use of RTK in the EMERCOM of Russia, operator training programs.

Comparison of ground-based robotics used in the aftermath of the Chernobyl accident and used robotics currently produced to perform the tasks of the Ministry of emergency situations of Russia.

Conclusions on priority areas of robotics development in the interests of EMERCOM of Russia.

Д.В. Баев
**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В МЧС РОССИИ**

*3 научно-исследовательский центр Федерального государственного
бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский
институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных
ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких
технологий) ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), Москва
bbgpresent@mail.ru*

Представление нормативно-правовой базы по разработке и применению робототехнических комплексов (далее – РТК) (систем) специального назначения для проведения аварийно-спасательных работ в системе МЧС России.

Основные задачи решаемые с помощью РТК:

разведка (в том числе радиационная, химическая, биологическая) и мониторинг зоны ЧС;

проведение погрузочно-разгрузочных и транспортных работ по доставке технических средств и материалов в аварийную зону для проведения инженерных работ;

выполнение манипуляционных технологических работ по монтажу и демонтажу оборудования;

работы по специальной обработке (деактивация, дегазация) местности, строений и оборудования;

пожаротушение, включающее разведку очага пожара, его локализацию и ликвидацию.

Представление диаграммы применения РТК пожаротушения, находящихся на оснащении в подразделениях МЧС России за период 2010-2018 гг. и применения робототехнических средств при ликвидации ЧС ФГКУ «Центр по проведению спасательных операций особого риска «Лидер», анализ поломок, а также характер и виды работ.

Подведение выводов по проблемным вопросам применения РТК в системе МЧС России, программы обучения операторов.

Сравнение наземных робототехнических средств, применяемых при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и применяемых робототехнических средств производимые в настоящее время для выполнения задач МЧС России.

Подведение выводов по приоритетным направлениям развития робототехники в интересах МЧС России.

A.M. Nunuparov
**DYNAMICS AND CONTROL OF VIBRATION-DRIVEN
CAPSULE-TYPE ROBOT WITH AN OPPOSING SPRING**

*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny,
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow
anunuparov@gmail.com*

A capsule robot is a locomotion (mobile) system that moves in a resistive medium without external propelling devices (legs, wheels, continuous tracks, and propeller fins) due to the motion of internal bodies in the presence of the force interaction between the robot housing and the environment. Structurally, the capsule robot consists of a rigid housing (capsule) and internal bodies that can move relative to the housing under the action of actuators. By controlling the motion of internal bodies, it is possible to control the external force (resistance force) acting on the robot and, therefore, the motion of the system as a whole. The capsule robot has several advantages over the other types of mobile systems. It is structurally simple, does not require complex mechanisms for the transmission of motion from the drive to the locomotors, easy to miniaturize, its housing can be sealed and smooth without protruding parts. The latter fact makes it possible to use a capsule robot in “vulnerable” media, particularly in medicine for diagnostic tests within the human body or for accurate delivery of medication to the affected area. The robot considered in this paper consists of a rigid body with a shape of a cylinder or parallelepiped and an electromagnetic (solenoid) actuator inside (fig. 1).

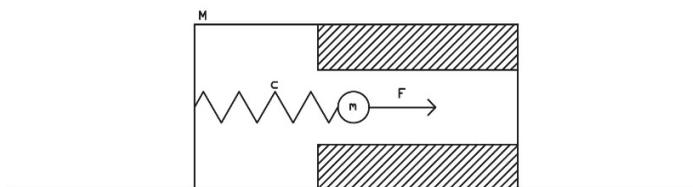


Figure 1 – Capsule-type robot

The actuator consists of an electric coil (solenoid) rigidly secured to the housing and the core made of a ferromagnetic material. It can move axially inside the solenoid. The core is attached to the housing by a spring the axis of which is oriented along the solenoid axis. The solenoid axis is parallel to the housing axis. The housing interacts with a resistive environment in which the robot moves. The robot is driven by the force that acts on the core when an electrical voltage is applied to the solenoid. The actuator is designed so that the force is directed to one side drawing the core into the coil. The core returns to the initial position by the spring. In this

paper, we consider a model in which the force applied to the solenoid core is the control variable. The dynamics of the electric

circuit of the solenoid is not taken into account. The excitation force is modeled as periodic piece-wise constant function. Each period consists of two intervals. On the first interval of length τT the force is constant and equals to F_0 , on the second interval of length $(1 - \tau)T$ force equals zero, where T is the period of the control signal, τ is a dimensionless positive constant from the interval $(0, 1)$. The resulted model is used to analyze the dependence of the average velocity of the robot on the parameters of the excitation force in steady state motion. The monotonic change of the period T with a constant duty cycle τ implies a continuous change in the average velocity of the robot in a steady state motion. At certain critical values of the period the velocity changes in sign. The change in the velocity sign is associated with the resonance phenomena in the oscillatory link of the system. The change of the duty cycle for a constant period also leads to a change in the magnitude and direction of the velocity of the robot's motion. If the duty cycles are τ and $1 - \tau$, the robot moves at the same speed but in opposite directions. At $\tau = 0$, $\tau = 0.5$ and $\tau = 1$ the average velocity of the robot is zero. Thus, the system can be controlled by both a change in the period and a change in the duty cycle of the control signal. The parameters of the excitation force which maximize the average velocity of the robot are calculated. The research results are based on the model-based and experimental investigations. Related studies are [1, 2, 3].

The study was supported by the Government program (contract #AAAA-A17-117021310384-9).

1. Chernous'ko F.L. Analysis and optimization of the motion of a body controlled by means of a movable internal mass // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2006. – V. 70. – No. 6. – P. 819–942.
2. Chashchukhin V.G. Simulation of dynamics and determination of control parameters of inpipe minirobot // Journal of Computer and Systems Sciences International – 2008. – V.47. – No. 5. – P. 806–811.
3. Zimmermann K., Zeidis I., Bolotnik N., Pivovarov M., Zimmermann K. Dynamics of a two-module vibration-driven system moving along a rough horizontal plane // Multibody System Dynamics. – 2009. – V. 22. – No. 2. – P. 199–219.

А.М. Нунапаров
ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ
КАПСУЛЬНОГО РОБОТА ВИБРАЦИОННОГО
ТИПА С ВОЗВРАТНОЙ ПРУЖИНОЙ

Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва
anuniparov@gmail.com

Капсульный робот – это локомоционная (мобильная) система, которая перемещается в сопротивляющихся средах без внешних движителей (ног, колес, гусениц, плавников, гребных винтов) за счет движения внутренних тел при наличии силового взаимодействия корпуса робота с внешней средой. Как правило, внутренние тела совершают колебательные движения относительно корпуса. Управление колебаниями внутренних тел позволяет изменять силу сопротивления среды движению корпуса, управляя таким образом движением всей системы. Такие роботы могут быть использованы в “ранимых” средах, в частности в медицине для проведения диагностических обследований внутри тела человека или для точной доставки медикамента к пораженному участку. В настоящей работе рассматривается робот, который состоит из жесткого корпуса и электромагнитного (соленоидного) привода, расположенного внутри (рис. 1).

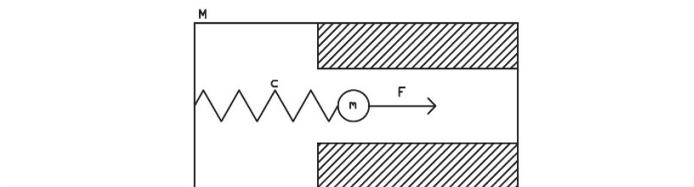


Рисунок 1 – Капсульный робот

Привод состоит из электрической катушки (соленоида), жестко скрепленной с корпусом, и сердечника, который изготовлен из ферромагнитного материала и может перемещаться внутри соленоида вдоль оси последнего. Сердечник связан с корпусом пружиной, ось которой ориентирована вдоль оси соленоида. Ось соленоида параллельна оси корпуса. Корпус взаимодействует с внешней сопротивляющейся средой, в которой движется робот, по средством силы сухого трения, подчиняющееся закону Кулона. Робот приводится в движение посредством силы, которая действует на сердечник при подаче электрического напряжения на соленоид. Привод устроен так, что эта сила направлена в одну сторону, стремясь втянуть сердечник в

катушку. Движение сердечника в обратном направлении осуществляется за счет пружины. Построена математическая модель описанного робота, в которой управляющей переменной служит сила, приложенная соленоидом к сердечнику. Динамика электрической цепи соленоида не учитывается. Полученная модель использовалась при исследовании влияния параметров периодической кусочно-постоянной возбуждающей силы на среднюю скорость центра масс робота V в установившемся движении. Каждый период возбуждающей силы состоит из двух интервалов. На первом интервале длительностью τT сила постоянна и равна F_0 , на втором интервале длительностью $(1 - \tau)T$ равна нулю, где T - период управляющего сигнала, а τ - коэффициент заполнения. Монотонное изменение периода T при постоянном коэффициенте заполнения влечет непрерывное изменение средней скорости робота в установившемся движении, причем при некоторых критических значениях периода скорость меняет знак. Изменение знака скорости связано с резонансными явлениями в колебательном звене системы. Изменение коэффициента заполнения τ при постоянном периоде также приводит к изменению величины и направления скорости движения робота, причем при коэффициентах заполнения, равных τ и $1 - \tau$, робот движется с одной и той же средней скоростью, но в противоположных направлениях; при $\tau = 0$, $\tau = 0.5$ и $\tau = 1$ средняя скорость робота равна нулю. Таким образом, управлять системой можно как изменением периода, так и изменением коэффициента заполнения управляющего сигнала. Были найдены оптимальные параметры возбуждающей силы для максимизации средней скорости робота. Результаты исследования были получены при теоретических, численных и экспериментальных исследованиях. По предмету и методике данное исследование близко к работам [1, 2, 3].

Работа выполнена по теме государственного задания (№ госрегистрации АААА-А17-117021310384-9).

1. Черноушко Ф.Л. Анализ и оптимизация движения тела, управляемого посредством подвижной внутренней массы // ПММ. – 2006. – Т. 70. – Вып. 6. – С. 915–941.
2. Чашухин В.Г. Моделирование динамики и определение управляющих параметров внутритрубного миниробота // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2008. – №. 5. – С. 142–147.
3. Zimmermann K., Zeidis I., Bolotnik N., Pivovarov M., Zimmermann K. Dynamics of a two-module vibration-driven system moving along a rough horizontal plane // Multibody System Dynamics. – 2009. – V. 22. – No. 2. – P. 199–219.

*V.I. Petrenko, F.B. Tebueva, V.O. Antonov,
V.B. Sychkov, M.M. Gurchinsky*
**MOTION PLANNING OF ANTHROPOMORPHIC
MANIPULATOR WITH COPY CONTROL**

*North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia
gurcmikhail@yandex.ru*

The actual direction of the development of modern robotics are copy control systems. Copy control systems allow you to realize the virtual presence of the operator in the operational space, which is especially important for areas of human professional activity that are associated with the risk to life - space exploration, underwater operations, military operations.

The system of copy control by an anthropomorphic manipulator includes a master device and a copying manipulator [1]. A specific feature of anthropomorphic manipulators is kinematic redundancy, which generally allows an infinite set of solutions to the inverse kinematics problem for a given position and orientation of the effector [2].

The presence of an infinite set of solutions to the inverse kinematic problem allows us to find a position that is optimal by any criterion by solving an optimization problem of the following form:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\theta}(1) &= \boldsymbol{\theta}_f; \boldsymbol{\theta}_{\min} \leq \boldsymbol{\theta}(t) \leq \boldsymbol{\theta}_{\max}; \mathbf{v}_{\min} \leq \dot{\boldsymbol{\theta}}(t) \leq \mathbf{v}_{\max}; \\ \mathbf{a}_{\min} &\leq \ddot{\boldsymbol{\theta}}(t) \leq \mathbf{a}_{\max}; \mathbf{T}_7(\boldsymbol{\theta})(0 \quad 0 \quad 0 \quad 1)^T = \mathbf{P}_w; \\ \mathbf{T}_7(\boldsymbol{\theta}(t))^T &= \begin{bmatrix} C(\alpha)S(\beta) & C(\alpha)S(\beta)S(\gamma) - S(\alpha)C(\gamma) & C(\alpha)S(\beta)C(\gamma) + S(\alpha)C(\gamma) & 0 \\ S(\alpha)S(\beta) & S(\alpha)S(\beta)S(\gamma) + C(\alpha)C(\gamma) & S(\alpha)S(\beta)C(\gamma) + C(\alpha)S(\gamma) & 0 \\ -S(\beta) & C(\beta)S(\gamma) & C(\beta)C(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\ \boldsymbol{\tau} &= \mathbf{M}(\boldsymbol{\theta}(t))\ddot{\boldsymbol{\theta}}(t) + \mathbf{C}(\boldsymbol{\theta}(t), \dot{\boldsymbol{\theta}}(t)); -\boldsymbol{\tau}_{\max} \leq \boldsymbol{\tau}(t) \leq \boldsymbol{\tau}_{\max}, t \in \\ &[0; 1]; \\ f(\boldsymbol{\theta}(t)) &\rightarrow \min(f(\boldsymbol{\theta}(t))) \rightarrow \max). \end{aligned}$$

Where $\boldsymbol{\theta}_f$ – optimized value of generalized coordinates in the final position; $\boldsymbol{\theta}(t)$ – the trajectory of the anthropomorphic manipulator in the space of generalized coordinates, obtained by the method of spline interpolation; $\boldsymbol{\theta}_{\min}$, $\boldsymbol{\theta}_{\max}$, \mathbf{v}_{\min} , \mathbf{v}_{\max} , \mathbf{a}_{\min} , \mathbf{a}_{\max} – limit value, velocity and acceleration of the generalized coordinates; \mathbf{P}_w – the position of the wrist joint of the manipulator in the final position; $\mathbf{T}_7(\boldsymbol{\theta})$ – matrix of homogeneous transformations from the coordinate system associated with the seventh link to the global coordinate system; α, β, γ – Euler angles characterizing the orientation of the effector in the final position; $C(\varphi), S(\varphi)$ – cosine and sine of an angle φ ; $\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta}(t))$ – manipulator inertia matrix; $\mathbf{C}(\boldsymbol{\theta}(t), \dot{\boldsymbol{\theta}}(t))$ – matrix of coefficients that take into account centrifugal and gravitational forces, as well as Coriolis force; $\boldsymbol{\tau}$ – moments

of forces developed in the manipulator drives; $f(\theta(t))$ – objective function of the optimization problem.

The criterion characterizing power consumption, smoothness of movement, maximum load of drives, etc. can be chosen as the target function [3, 4, 5].

The paper presents the formulation of the optimization problem, as well as the synthesis and analysis of various optimization criteria. To test the possibility of solving an optimization problem in real time, the evaluation of the computational complexity of various methods was performed, and simulations were performed to evaluate their effectiveness.

1. Kutlubayev I.M., Bogdanov A.A., Zhidenko I.G., Kiyatkin D.V., Permyakov A.F.: Copy Manipulator. Patent for utility model RUS 135956 14.05.2013.
2. Miller L., Kim H., Rosen J. "Redundancy and joint limits of a seven degree of freedom upper limb exoskeleton" Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS in August 2011.
3. Petrenko V.I., Tebueva F.B., Gurchinskiy M.M., Antonov V.O., Untewsky N.U., The method of the quasioptimal per energy efficiency design of the motion path for the anthropomorphic manipulator in a real time operation mode. Proceedings of REMS 2018 (Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, Stavropol (Dombay, Russia, 15-20 October 2018, published at <http://ceur-ws.org>).
4. Yusupova, N.I., Shaxmametova, G.R., Kamilyanov, A.R.: Search for a trajectory of movement of a multiple manipulator with a given initial configuration on the basis of intelligent methods. Mechatronics, automation, control № 9, 13-17 (2007).
5. Nesmiyanov I. A., Zhoga V. V., Pavlovsky V. E., Vorobyeva N. S. Control system of an agricultural robot manipulator // Izvestiya NV AUK. 2014. № 3 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-upravleniya-manipulyatora-selskohozyaystvennogo-robota> (дата обращения: 14.05.2019).

**В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов,
В.Б. Сычков, М.М. Гурчинский**
**ПЛАНИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АНТРОПОМОРФНОГО
МАНИПУЛЯТОРА ПРИ КОПИРУЮЩЕМ УПРАВЛЕНИИ**

*Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь
gurcmikhail@yandex.ru*

Актуальным направлением развития современной робототехники являются системы копирующего управления. Системы копирующего управления позволяют реализовать виртуальное присутствие оператора в операционном пространстве, что особенно актуально для сфер профессиональной деятельности человека, сопряженных с риском для жизни – освоение космоса, подводные операции, военные действия.

Система копирующего управления антропоморфным манипулятором включает в себя задающее устройство и копирующий манипулятор [1]. Специфической особенностью антропоморфных манипуляторов является кинематическая избыточность, которая для заданных положения и ориентации эффектора допускает в общем случае бесконечное множество решений обратной задачи кинематики [2].

Наличие бесконечного множества решений обратной задачи кинематики позволяет найти положение, оптимальное по какому-либо критерию путем решения оптимизационной задачи следующего вида:

$$\begin{aligned} & \boldsymbol{\theta}(1) = \boldsymbol{\theta}_f; \boldsymbol{\theta}_{\min} \leq \boldsymbol{\theta}(t) \leq \boldsymbol{\theta}_{\max}; \mathbf{v}_{\min} \leq \dot{\boldsymbol{\theta}}(t) \leq \mathbf{v}_{\max}; \\ & \mathbf{a}_{\min} \leq \ddot{\boldsymbol{\theta}}(t) \leq \mathbf{a}_{\max}; \mathbf{T}_7(\boldsymbol{\theta})(0 \ 0 \ 0 \ 1)^T = \mathbf{P}_w; \\ & \mathbf{T}_7(\boldsymbol{\theta}(t))^T = \begin{bmatrix} C(\alpha)S(\beta) & C(\alpha)S(\beta)S(\gamma) - S(\alpha)C(\gamma) & C(\alpha)S(\beta)C(\gamma) + S(\alpha)C(\gamma) & 0 \\ S(\alpha)S(\beta) & S(\alpha)S(\beta)S(\gamma) + C(\alpha)C(\gamma) & S(\alpha)S(\beta)C(\gamma) + C(\alpha)S(\gamma) & 0 \\ -S(\beta) & C(\beta)S(\gamma) & C(\beta)C(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\ & \boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}(\boldsymbol{\theta}(t))\ddot{\boldsymbol{\theta}}(t) + \mathbf{C}(\boldsymbol{\theta}(t), \dot{\boldsymbol{\theta}}(t)); -\boldsymbol{\tau}_{\max} \leq \boldsymbol{\tau}(t) \leq \boldsymbol{\tau}_{\max}, t \in \\ & [0; 1]; \\ & f(\boldsymbol{\theta}(t)) \rightarrow \min(f(\boldsymbol{\theta}(t)) \rightarrow \max). \end{aligned}$$

где $\boldsymbol{\theta}_f$ – оптимизируемое положение обобщенных координат в конечном положении; $\boldsymbol{\theta}(t)$ – траектория движения антропоморфного манипулятора в пространстве обобщенных координат, полученная методом сплайновой интерполяции; $\boldsymbol{\theta}_{\min}$, $\boldsymbol{\theta}_{\max}$, \mathbf{v}_{\min} , \mathbf{v}_{\max} , \mathbf{a}_{\min} , \mathbf{a}_{\max} – ограничения по значению, скорости и ускорению обобщенных координат; \mathbf{P}_w – положение лучезапястного сочленения манипулятора в конечном положении; $\mathbf{T}_7(\boldsymbol{\theta})$ – матрица однородных преобразований из системы координат, связанной с седьмым звеном, в глобальную систему координат; α, β, γ – углы Эйлера, характеризующие ориентацию эффектора в конечном положении; $C(\varphi), S(\varphi)$ – косинус и

синус угла φ ; $\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta}(t))$ – матрица инерции манипулятора; $\mathbf{C}(\boldsymbol{\theta}(t), \dot{\boldsymbol{\theta}}(t))$ – матрица коэффициентов, учитывающих центробежные и гравитационные силы, а также силу Кориолиса; $\boldsymbol{\tau}$ – моменты сил, развиваемые в приводах манипулятора; $\mathbf{f}(\boldsymbol{\theta}(t))$ – целевая функция оптимизационной задачи.

В качестве целевой функции может быть выбран критерий, характеризующий энергопотребление, плавность движения, максимальную нагрузки приводов и др. [3, 4, 5].

В работе выполнена постановка приведенной оптимизационной задачи, а также синтез и анализ различных критериев оптимизации. Для проверки возможности решения оптимизационной задачи в режиме реального времени выполнена оценка вычислительной сложности различных методов, а также выполнено моделирование для оценки их эффективности.

1. Пат. 135956 Российская Федерация, МПК7 B25J9/08. Полезная модель. Копирующий манипулятор / Богданов А. А., Жиденко И. Г., Кияткин Д. В., Кутлубаев И. М., Пермяков А. Ф.; заявитель и патентообладатель НПО «Андроидная техника» №2013122162; заявл. 14.05.13, опубл. 14.05.13.
2. Miller L., Kim H., Rosen J. "Redundancy and joint limits of a seven degree of freedom upper limb exoskeleton" Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS in August 2011.
3. Petrenko V.I., Tebueva F.B., Gurchinskiy M.M., Antonov V.O., Untewsky N.U., The method of the quasioptimal per energy efficiency design of the motion path for the anthropomorphic manipulator in a real time operation mode. Proceedings of REMS 2018 (Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, Stavropol (Dombay, Russia, 15-20 October 2018, published at <http://ceur-ws.org>).
4. Yusupova, N.I., Shaxmametova, G.R., Kamilyanov, A.R.: Search for a trajectory of movement of a multiple manipulator with a given initial configuration on the basis of intelligent methods. Mechatronics, automation, control № 9, 13-17 (2007).
5. Несмиянов И. А., Жога В. В., Павловский В. Е., Воробьева Н. С. Система управления манипулятора сельскохозяйственного робота // Известия НВ АУК. 2014. №3 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-upravleniya-manipulyatora-selskohozyaystvennogo-robota> (дата обращения: 14.05.2019).

*E.A. Abrosimov, V.A. D'yachenko, A.V. Bakhshiev,
E.K. Ignatiadi, A.A. Shavlikov*
**TECHNOLOGIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE
PROBLEM OF ANALYSIS OF ROAD SITUATION
BY AUTONOMOUS VEHICLE**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
e.abrosimov@rtc.ru*

The automotive industry is undergoing a revolution today - the emergence of unmanned vehicles. For successful movement of an unmanned vehicle, it is necessary to solve problems related to the recognition and analysis of the road environment, path planning and vehicle movement controlling. The task of recognizing and analyzing the traffic situation is the most difficult of these. The high complexity of this task is due to the fact that the car must operate in a dynamic, non-deterministic environment, influenced of external factors (weather conditions, other road users, pedestrians, etc.).

Thus, task of analyzing the traffic situation is intellectual task and requires a combination of various technologies of artificial intelligence to solve it. The following technologies of artificial intelligence are considered: fuzzy production systems [1], neural network [2], and hybrid systems [3]. In addition, the solution of some problems of image analysis can be carried out using certain algorithms without the use of artificial intelligence [4,5].

The purpose of the road analysis is to create a semantic map. This map reflects the connections between the objects and allows perform operations not only with data, but also with knowledge to predict the environment.

It is shown in which tasks of the analysis of the road situation it is advisable to use certain technologies (fig. 1) to create a semantic map of the road environment.

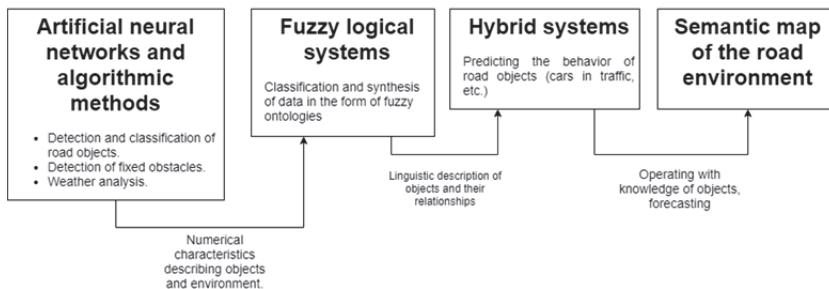


Figure 1 - Scheme analysis of road environment

1. H. A. Widaa, W. A. Talha. Design of a Fuzzy-Based Autonomous Car Control System // International Conference on Communication Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE), 2017, pp. 1-7.
2. Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, Jian Sun, “Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks”, 2015. [Electronic resource]. Access: <https://arxiv.org/abs/1506.01497> [Date of accessing: 05.19.2018].
3. Al-Mayyahi A., Wang W., Birch P. Adaptive Neuro-Fuzzy Technique for Autonomous Ground Vehicle Navigation // Robotics 2014, 3, pp. 349-370.
4. Iloie, I. Giosan, S. Nedeveschi, UV-disparity based on obstacle detection and urban traffic scenarios // IEEE Int. Conf Intelligent Computer Communication Processing, 2014. pp. 119-125.
5. Pfeiffer D., Franke U. Towards a Global Optimal Multi-Layer Representation of Dense 3D Data // BMVC., 2011. pp. 1–12.

*Э.А. Абросимов, В.А. Дьяченко, А.В. Бахшиев,
Е.К. Игнатиуди, А.А. Шавликов*

**ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧЕ
АНАЛИЗА ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ АВТОНОМНЫМ
ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ**

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
e.abrosimov@rtc.ru

Автомобильная отрасль сегодня переживает революцию – появление беспилотных автомобилей. Для успешного управления беспилотным автомобилем необходимо решить задачи распознавания и анализа дорожной среды, планирования маршрута и непосредственного управления движением транспортного средства. Задача распознавания и анализа дорожной обстановки является наиболее сложной. Высокая сложность этой задачи обуславливается тем, что автомобилю необходимо функционировать в динамической, недетерминированной среде, подверженной влиянию внешних факторов (погодные условия, другие участники дорожного движения, пешеходы и т.д.).

Таким образом, задача анализа дорожной обстановки является интеллектуальной и требует для своего решения комбинации различных технологий искусственного интеллекта. В работе рассмотрены следующие технологии искусственного интеллекта: нечёткие продукционные системы [1], нейронные сети [2] и гибридные системы [3]. Кроме того, решение некоторых задач анализа изображения можно проводить с помощью определённых алгоритмов без применения технологий искусственного интеллекта [4,5].

Целью анализа дорожной обстановки является создание семантической карты. Такая карта отражает связи между объектами и позволяет работать не только с данными, но и со знаниями, прогнозировать окружающую обстановку.

Показано в каких задачах анализа дорожной обстановки целесообразно применять те или иные технологии (см. рис. 1) для создания семантической карты местности.



Рисунок 1 – Схема анализа дорожной обстановки

1. Н. А. Widaa, W. A. Talha. Design of Fuzzy-based autonomous car control system // International Conference on Communication Control Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE), 2017, pp. 1-7.
2. Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, Jian Sun, «Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks», 2015. [Электронный ресурс]. Доступ: <https://arxiv.org/abs/1506.01497> [Дата обращения: 19.05.2019].
3. Al-Mayyahi A., Wang W., Birch P. Adaptive Neuro-Fuzzy Technique for Autonomous Ground Vehicle Navigation // Robotics 2014, 3, pp. 349-370.
4. Iloie, I. Giosan, S. Nedevschi, UV-disparity based obstacle detection and pedestrian classification in urban traffic scenarios // IEEE Int. Conf Intelligent Computer Communication Processing, 2014. pp. 119-125.
5. Pfeiffer D., Franke U. Towards a Global Optimal Multi-Layer Stixel Representation of Dense 3D Data // BMVC., 2011. pp. 1–12.

S. Efremenkov
**WIRELESS COMMUNICATION LINKS AND VIDEO CAMERAS
FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) AND
UNMANNED GROUND VEHICLE (UGV)**

*«SET-1», Moscow
set@set-1.ru*

One of the most challenging issue of robotics is providing wireless high-quality, prompt and secure data transmission between an unmanned device and the operator. Successful performing of the mission depends on the correct choice of the wireless link type and onboard peripheral equipment.

Despite the wide opportunities of modern digital data transmission channels it is not possible to solve the tasks of controlling the Robotics complex (RTC) and all the more - the group of RTC, by using only one type of wireless link.

The optimal solution for controlling of medium and heavy grades of RTC is combining of low-speed and high-speed wireless links:

- Low-speed steady and highly reliable duplex channel with "point-to-point" or "point-to-multipoint" topology is intended solely for RTC controlling and telemetry data obtaining

- The digital high-speed broadband and duplex channel with MESH cellular topology is intended for transmitting the data from onboard peripheral devices, including high-resolution digital IP video cameras and additional diagnostic equipment. This channel must provide a "transparent" wireless connection for the onboard devices via ETHERNET interface by use of TCP / IP or UDP protocols

- High speed duplex or one-way data transmission channel with "point-to-point" or "point-to-multipoint" topology intended solely for video image transmission with minimal delay.

Availability of several wireless links onboard the RTC allows to increase the carrier capacity by use of "aggregation" algorithm and solves the problem of reservation of control and data transmission channel.

Usage a wireless link with MESH topology makes it possible to organize group interaction between several separate RTC performing different missions and provides direct data exchange between RTCs, bypassing the central control point.

Each RTC equipped with MESH wireless link can perform the function of a repeater. Usage of UAV equipped with MESH wireless link is the most promising way to provide data relay for RTC group located at a vast distance from the control point.

The critical process parameter for RTC controlling is the delay. Properly selected and configured equipment of modern digital systems allows to have 150-300 ms delay (comfortable value of the delay for an operator is not more than 200 ms, the acceptable one is up to 300 ms). The lowest delay values are achieved when using specially upgraded or developed digital video cameras, a special digital wireless link, optimized software and a high-performance display device. This combination of technical solutions is implemented in Full HD “RESET” wireless link produced by “SET-1” JSC - the achieved delay value does not exceed 160 ms.

The report encompasses also peculiar properties of high-resolution digital and analog video cameras used in the RTC, their main advantages and disadvantages, and also recommendations on the optimal choice of video cameras for specific missions are given.

When choosing types of video cameras, it is necessary to take into account the possibility of using additional equipment that allows to generate a multi-screen mode - the “picture in picture” mode. The use of video cameras of various standards as part of the RTC significantly complicates their combination and displaying in multi-screen mode.

Modern video processors used in motor-car industry allow creating a virtual 3D video image of a moving object against the backdrop of the environment. This mapping technology is applicable to RTC and will significantly increase the efficiency of RTC control under tying with the environment.

С.В. Ефременков
**БЕСПРОВОДНЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ И ВИДЕОКАМЕРЫ ДЛЯ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) И
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (РТК)**

*АО «СЕТ-1», Москва
set@set-1.ru*

Одна из самых актуальных задач робототехники – беспроводная качественная, оперативная и защищённая передача данных между беспилотным устройством и оператором. От правильного выбора типа беспроводного канала и бортового периферийного оборудования зависит успех выполняемой задачи.

Используя только один тип радиоканала, не удаётся решить задачи управления РТК (и тем более группой РТК), несмотря на широкие возможности современных цифровых каналов передачи данных.

Оптимальным решением для управления РТК среднего и тяжёлого классов является сочетание низкоскоростных и высокоскоростных радиоканалов:

- низкоскоростной устойчивый и высоконадёжный двусторонний канал с топологией «точка-точка» или «точка-многоточие» предназначен исключительно для управления РТК и получения данных телеметрии;

- цифровой высокоскоростной широкополосный и двусторонний канал связи с ячеистой топологией «MESH» предназначен для передачи данных от бортового периферийного оборудования, включая цифровые IP видеокamеры высокого разрешения и дополнительное диагностическое оборудование. Данный канал должен обеспечивать «прозрачное» беспроводное подключение бортового оборудования по интерфейсу ETHERNET с использованием протоколов TCP/IP или UDP;

- скоростной двусторонний или односторонний канал передачи данных с топологией «точка-точка» или «точка-многоточие» предназначенный исключительно для передачи видеоизображения с минимальной задержкой.

Наличие нескольких радиоканалов на борту РТК позволяет увеличить пропускную способность при использовании алгоритма «агрегирования» и позволяет решить задачу резервирования канала управления и передачи данных.

Применение радиоканала с использованием топологии «MESH» дает возможность организовать групповое взаимодействие между отдельными РТК выполняющими различные миссии и обмениваться

данными непосредственно напрямую между РТК, минуя центральный пункт управления.

Каждый РТК, оборудованный радиоканалом «MESH», может выполнять функцию ретранслятора. Для ретрансляции сигналов от группы РТК, находящейся на большом удалении от пункта управления, наиболее перспективно использование БЛА, оборудованного радиоканалом «MESH».

При управлении РТК критическим параметром является задержка. В современных цифровых системах правильно выбранное и настроенное оборудование позволяет получить задержку 150-300 мс (комфортное для оператора значение задержки составляет не более 200 мс, допустимое – до 300 мс). Наиболее низкие значения задержки достигаются при использовании специально модернизированных или разработанных цифровых видеокамер, специального цифрового радиоканала, оптимизированного ПО и производительного устройства отображения. Такое сочетание технических решений реализовано в Full HD радиолинии «РЕСЕТ» производства АО «СЕТ-1» – достигнутая величина задержки не превышает 160 мс.

В докладе также рассмотрены особенности цифровых и аналоговых видеокамер высокого разрешения, используемых в РТК, основные их преимущества и недостатки, даны рекомендации по оптимальному выбору видеокамер для конкретных задач.

При выборе типов видеокамер необходимо учитывать возможность использования дополнительного оборудования позволяющего формировать мультиэкранный режим – режим «картинка в картинке». Применение видеокамер различного стандарта в составе РТК значительно осложняет их сочетание и отображение в мультиэкранном режиме.

Современные видеопроцессоры, используемые в автомобильной промышленности, позволяют формировать виртуальное 3D видеоизображение движущегося объекта на фоне окружающей обстановки. Данная технология отображения применима и к РТК и позволит значительно увеличить эффективность контроля РТК в привязке к окружающей его обстановке.

G.A. Prakapovich, V.A. Sychyov
THE HEXAPOD-BASED SPHERICAL MOVER
FOR A MOBILE ROBOT

*The United Institute of Informatics Problems,
National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
rprakapovich@robotics.by, vsychyov@robotics.by*

The task of creating a self-moving chassis on the base of spherical movers is actual nowadays. It is proved by appearing of futuristic vehicles and mobile robots in movies as well as scientific researches.

In the difference with frequently used wheeled chassis, spherical chassis use own hermetic body. It provides extra protection for mechanical parts and control system because holes and gaps can be excluded. Moreover, it lets reach such advantages as simplifying of moving through rugged terrain that consists not only hard but viscous and liquid surroundings without changing of a mover.

In the paper [1] has been proposed a fundamentally new approach for omnidirectional deviation of the center of mass relatively to the center of the robot's spherical body. It makes it possible to generate controlled torque that can be aimed in any direction and reach a zero turning radius. The robot consists of hollow spherical body and parallel manipulator with radially located links. The links connected with the internal surface of the body and working body by spherical joints. The described scheme makes it possible to make move working body omnidirectionally within hollow spherical body, with restriction only by working zone of parallel manipulator [2].

It is important that the described method don't regulate construction and type of parallel manipulator. Energy efficiency considerations in the paper [1] lead authors to the assumption that it is needed to use quadropod-type manipulator with four closed kinematical chains. It allows to distribute the mass symmetrically inside of the spherical body as well as simplify the mechanism.

However, the described robot hasn't been built. To continue researches the authors decided to develop a more classical and symmetrical scheme of a parallel hexapod-type manipulator, which consists of six equivalent supports. The manipulator has structure 6-SUR, where the number 6 means number of supports, letters R, U and S mean location of spherical, universal (Hooke's joint) and swivel joint on each support.

Moreover, the underline indicates to which of the joints the mechanical force from the engines is applied. Usually, the order of enumeration of joints begins from a fixed base. In the described case, the fixed base is the inner surface of the hollow spherical body. Thus, the

working body of the parallel manipulator is a cube that contains servo drives, batteries, and a control system.

The features of the manipulator have been investigated using SimLab Multibody package of the MATLAB (Fig. 1a). The results of the simulation make it possible to build a spherical mobile robot (Fig. 1, b), which is remotely controlled via a wi-fi wireless network.

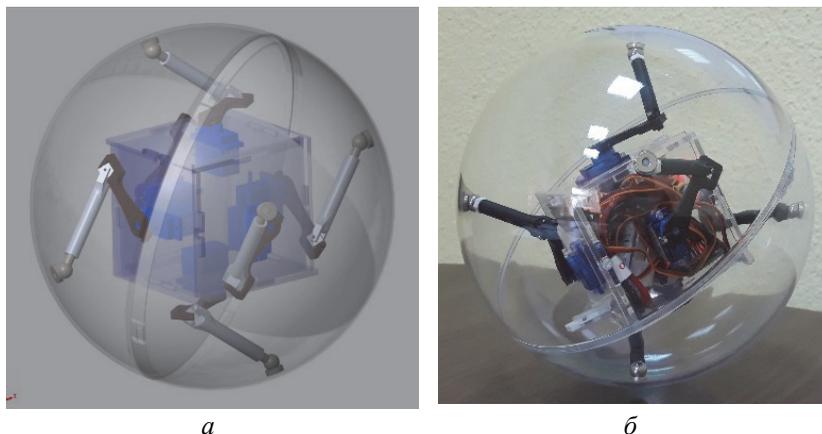


Figure 1 – The mobile robot

1. Prakapovich, R.A. Spherical Mobile Robot With Zero Rotation Radius // Robotics and Technical Cybernetics, 2015, No 2(7), pp. 39-44. ISSN 2310-5305 (in Russian).
2. Prakapovich, R.A. New kind of moving for spherical robot using mechanical energy recovery / R.A. Prakapovich, I.V.Podmazov // International scientific tech. conf. "Extreme Robotics". - SPb: Gangut, 2017. – Pp. 93-94 (in Russian).

Г.А. Прокопович, В.А. Сычѳв
СФЕРИЧЕСКИЙ ДВИЖИТЕЛЬ МОБИЛЬНОГО РОБОТА
НА ОСНОВЕ ГЕКСАПОДА

*Объединѳнный институт проблем информатики
НАН Беларуси, г. Минск
rprakapovich@robotics.by, vsychyov@robotics.by*

Создание самоходных шасси на основе сферических движителей является довольно актуальным и на сегодняшний день. Это косвенно подтверждается новыми научными работами и появлением правдоподобных футуристических моделей транспортных средств и мобильных роботов на широких экранах.

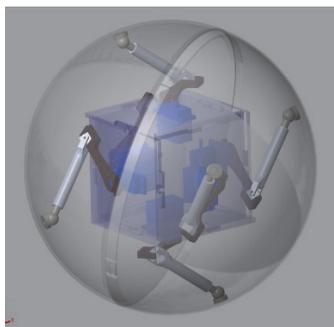
В отличие от гораздо более часто используемых колесных шасси, шарообразные шасси используют в качестве движителя свой герметичный корпус. Это дает им дополнительную защиту для механизмов и системы управления из-за отсутствия зазоров и отверстий в корпусе, упрощает передвижение по пересеченной местности и дает способность передвижения не только по твердым, но и по вязким и жидким средам без замены движителя.

В работе [1] был предложен принципиально новый способ всенаправленного смещения центра тяжести всего робота относительно геометрического центра его сферического корпуса, что создаѳт управляемый вращательный момент в любую сторону с нулевым радиусом поворота. Указанный робот состоит из корпуса, выполненного в виде поллой сферы, и параллельного манипулятора, состоящего из радиально расположенных звеньев. Причѳм звенья манипулятора соединены с внутренней поверхностью корпуса и рабочим органом шарнирами. Благодаря всенаправленному перемещению рабочего органа внутри полого сферического корпуса (в рамках его рабочей зоны) обеспечивается не только движения с нулевым радиусом поворота, но и возможность создавать управляемые периодическое отклонение центра масс от геометрического центра сферического корпуса в требуемую сторону движения самого робота [2].

Таким образом, предложенный метод создания вращающего момента сферического движителя основывается на размещении внутри полого корпуса параллельного манипулятора, но не регламентирует, какого его тип и строение. В борьбе за энергоэффективность в работе [1] сделано предположение, что для упрощения конструкции, а также обеспечения симметричного распределения массы по объѳму сферического корпуса, необходимо использовать манипулятор с четырьмя замкнутыми кинематическими цепями типа «квадропад». Однако, ввиду сложности реализации и стремлении к созданию

симметричной схемы (кинематической идентичности всех четырёх опор) указанный мобильный робот так и не был реализован физически.

Для продолжения дальнейших исследований авторами было решено разработать более классическую и симметричную схему параллельного манипулятора типа гексапод, который состоит из шести равнозначных опор. Манипулятор имеет структуру 6-SUR, где число 6 означает количество опор, буквы R, U и S – последовательное расположение сферического, универсального (шарнир Гука) и поворотного шарниров на каждой опоре. Причём, подчёркивание указывает, к какому из шарниров прикладывается механическое усилие от двигателей. Как правило, порядок перечисления шарниров начинается от неподвижного основания. В нашем случае неподвижным основанием является внутренняя поверхность полого сферического корпуса. Таким образом, рабочий орган указанного параллельного манипулятора представляет собой куб, который содержит сервоприводы, элементы питания и блок системы управления. Благодаря имитационному моделированию (рис.1, а) в пакете Simscape Multibody среды MATLAB была доказана его работоспособность и определены некоторые конструктивные особенности. Полученные данные позволили собрать действующий макет сферического мобильного робота (рис.1, б), который управляется дистанционно через беспроводную сеть wi-fi.



а



б

Рисунок 1 – Внешний вид мобильного робота

1. Прокопович, Г.А. Мобильный робот с нулевым радиусом поворота / Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – №2(7). – С. 39-44.
2. Прокопович, Г.А. Новый способ движения сферического робота с использованием рекуперации механической энергии / Г.А. Прокопович, И.В. Подмазов // Междунар. науч.-техн. конф. "Экстремальная робототехника". – СПб : Гангут, 2017. – С. 93-94.

L.A. Khadasevich
**SPATIAL MOTION PLANNING OF AUTONOMOUS MOBILE
ROBOT BASED ON INDOOR CHARACTERISTIC ELEMENTS**

*The United Institute of Informatics Problems
of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
liubov.hodasevich@gmail.com*

Nowadays service robotics is rapidly developing. While the techniques for outdoor robot navigation are studied sufficiently, there are a number of problems in the field of indoor robot navigation. The report proposes a navigation method based on an analysis of the indoor characteristic elements. For this purpose, a deep neural network (DNN) detecting doors in the corridor images was trained.

A sufficiently large dataset is known to be needed for DNN training. There are many databases on the Internet, including ones consisting of door images. However, the problem of training the detector on such data is that robot moves along walls and corridors while reaching the goal [1] that results in contortion of original door shapes because doors are located on the robot right and left. Hence, an automated method of synthetic door image generation was proposed [2]. It is based on a set of video sequences, which captured the movement along the corridor. The method of obtaining the labeled training dataset from video sequences includes four steps: 1) split the video into a set of successive frames; 2) for the first frame, manually select the door bounding boxes which will serve as templates for door recognition; 3) for the remaining frames, apply the pattern recognition method to generate bounding boxes; 4) if necessary, manually adjust the boundaries of the bounding boxes.

As a result, 2180 realistic images, which depicted 5713 doors, were generated.

Another problem of navigation systems based on DNNs is DNNs require large computational power. As a rule, it is necessary to choose between high detection accuracy with fast image processing and performing DNN inference in the cloud and lower computation accuracy with slow frame processing and performing DNN inference on robot board. Indeed, two detectors were trained during the experiments: Faster R-CNN Inception V2 and SSD MobileNet v2 lite. According to the evaluation results, they showed the following average accuracy of four door classes detections (leftDoor, rightDoor, straightDoor, openDoor): it was 0.896 for Faster R-CNN and 0.7093 for SSD. In addition, the speed of image processing on the

Raspberry Pi 3 Model B single-board computer was tested: the Faster R-CNN maximum processing speed was 0.08 fps, for SSD this speed was 1.54 fps.

As shown, the detection accuracy of Faster R-CNN outperforms the one of lightweight SSD. However, it becomes possible to run navigation algorithms on the robot board, which makes it independent of external Internet connections. Post-processing was used to improve the accuracy of the SSD. In this regard, the detected door tracking by a set of N successive frames was implemented. At that, an assumption that the door cannot instantly disappear from the field of view is considered, and the speed of movement of the robot is taken into account.

Taking everything into consideration, DNN image processing on the robot board is possible, but in order for the results to be reliable, improvement of the algorithms is required. This can be an improving of DNN architecture, post-processing or using of more powerful devices designed specifically for DNN processing.

1. Prakupovich, R.A. Razrabotka sistemy tekhnicheskogo zreniya dlya servisnogo mobilnogo robota. Trudy seminara.BTS-II, Moskow, Pero Publ. 2016, pp. 127-136. (In Russian)
2. Khodasevich L.A. Realistic images generation for training artificial neural networks in robot navigation problem. Informatics. 2018;15(4):50-58. (In Russian)

Л.А. Ходасевич
**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРИЕНТАЦИЯ АВТОНОМНОГО
МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПО ХАРАКТЕРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ
ПОМЕЩЕНИЙ**

*Объединённый институт проблем информатики
НАН Беларуси, г. Минск
liubov.hodasevich@gmail.com*

В современном мире стремительно развивается сервисная робототехника. И если методы для навигации роботов вне помещений достаточно изучены, то в области ориентирования роботов внутри помещений существует ряд проблем. В докладе предлагается метод навигации, основанный на анализе характерных элементов помещений. Для этого была обучена глубокая нейронная сеть (ГНС), детектирующая двери на изображениях коридоров.

Как известно, для обучения ГНС нужен достаточно большой набор обучающих данных. В сети Интернет существуют множество баз данных, в том числе наборы изображений дверей. Однако проблема обучения детектора на таких данных состоит в том, что в процессе выполнения роботом заложенной программы он движется вдоль коридоров и стен [1], в результате двери чаще расположены не перпендикулярно фронтальной камеры робота, а по его левый или правый борт, что искажает их первоначальную геометрическую форму. По этой причине был предложен автоматизированный метод генерации обучающего набора синтетических изображений дверей [2]. Для этого за основу был взят набор видеопоследовательностей, на которых запечатлено движение вдоль коридора. Метод получения размеченной обучающей выборки из видеопоследовательностей заключался в следующем: 1) разбить видеопоследовательность на набор последовательных кадров; 2) для первого кадра вручную выделить прямоугольники, ограничивающие двери, которые будут служить шаблонами для распознавания дверей; 3) для оставшихся кадров применить метод поиска объектов по шаблону для генерации ограничивающих прямоугольников; 4) при необходимости вручную подкорректировать границы ограничивающих прямоугольников.

В результате было сгенерировано 2180 реалистичных изображений, на которых изображено 5713 дверей.

Ещё одной проблемой методов навигации, основанных на ГНС, является то, что ГНС требуют большие вычислительные мощности. Как правило, приходится выбирать между высокой точностью детектирования с быстрой обработкой изображения и запуском ГНС в облаке и более низкой точностью вычислений с медленной обработкой кадра и запуском ГНС на борту робота. Действительно, в ходе

экспериментов были обучены два детектора: Faster R-CNN Inception V2 и SSD MobileNet v2 lite. По итогам тестирования они показали следующие средние точности детектирования четырех классов дверей (leftDoor, rightDoor, straightDoor, openDoor): для Faster R-CNN она составляла 0,896, а для SSD 0,7093. Также была протестирована скорость обработки изображений на одноплатном компьютере Raspberry Pi 3 Model B: максимальная скорость обработки Faster R-CNN составила 0,08 кадр./с, для SSD эта скорость составила 1,54 кадр./с.

Как видно, точность детектирования дверей более легковесным SSD уступает Faster R-CNN на 0,2, однако при этом становится возможным запустить алгоритмы навигации на борту робота, что делает его независимым от внешних Интернет-соединений. Для повышения точности SSD использовалась постобработка. Для этого был реализован алгоритм трекинга обнаруженных дверей по набору из N последовательных кадров. При этом делается предположение, что дверь не может мгновенно исчезнуть из поля зрения робота, а также учитывается скорость движения робота.

Можно сделать вывод о том, что обработка изображений ГНС на борту робота является возможной, однако для того, чтобы результаты были надёжными, требуются усовершенствование алгоритмов. Например, усовершенствование архитектур ГНС, постобработка вывода ГНС (трекинг объектов) или же использование более мощных устройств, спроектированных специально для обработки ГНС.

1. Прокопович, Г.А. Разработка системы технического зрения для сервисного мобильного робота / Г.А. Прокопович // БТС-ИИ-2016, 22-23 сентября 2016 г., г. Иннополис, Республика Татарстан, Россия): Труды семинара. – М: Изд-во «Перо», 2016. – 184 с. С. 127-136.
2. Ходасевич Л.А. Генерация реалистичных изображений для обучения искусственных нейронных сетей в задаче навигации робота / Л.А. Ходасевич // Информатика. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 50 – 58.

S.R. Orlova, T.T. Isakov
**USING OF DEEP NEURAL NETWORKS FOR
SEGMENTATION OF DRIVING
ENVIRONMENT IMAGES**

*The Russian State Scientific Center for
Robotics and Technical Cybernetics,
SPbPU, Saint-Petersburg,
orsveri@gmail.com, timswim1337@gmail.com*

An increased interest in the development of technologies for vehicular automation is the reason that the computer vision problems associated with the recognition of driving environment are highly relevant now. Neural networks application in such tasks allows to achieve better performance than the use of classical methods of technical vision. Currently, a lot of development of neural network methods is underway, including for image segmentation, which gradually push the state of the art.

However, despite the large number of works devoted to the development of neural network segmentation methods, there are a number of problems associated with the practical solution of the segmentation problem in the development of computer vision system. One of the main problems is the lack of experimental studies comparing the performance of existing methods, which would be a support when choosing the most appropriate method for the task.

The report discusses the use of deep convolutional neural networks to solve the problem of segmentation of images of the road situation, compares modern algorithms and formulates recommendations on the choice of specific algorithms depending on the task.

С.Р. Орлова, Т.Т. Исаков
**ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
В ЗАДАЧЕ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, СПбПУ, г. Санкт-Петербург,
orsveri@gmail.com, timswim1337@gmail.com, alexab@rtc.ru*

Повышенный интерес к технологиям автоматизации транспорта является причиной того, что задачи технического зрения, связанные с распознаванием дорожной обстановки, в настоящее время крайне актуальны. Применение нейронных сетей в таких задачах позволяет достичь лучших показателей работы, чем использование классических методов технического зрения. В настоящее время проводится множество разработок нейросетевых методов, в том числе и для сегментации изображений, постепенно поднимающих планку качества.

Однако, несмотря на большое количество работ, посвященных разработке нейросетевых методов сегментации, существует ряд проблем, связанных с практическим решением задачи сегментации при разработке СТЗ. Одной из главных проблем является недостаток экспериментальных исследований, сравнивающих показатели работы существующих методов, что послужило бы опорой при выборе наиболее подходящего под задачу метода.

В докладе рассматривается применение глубоких сверточных нейронных сетей для решения задачи сегментации изображений дорожной обстановки, выполняется сравнение современных алгоритмов и формулируются рекомендации по выбору конкретных алгоритмов в зависимости от задачи.

**MARINE ROBOTICS /
МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

A.F. Scherbatyuk
**CURRENT EXPERIENCE FOR USAGE OF SOME AUV
DEVELOPED IN IMTP FEB RAS**

*Institute for Marine Technology Problems
FEB RAS, Vladivostok, Russia
alex-scherba@yandex.ru*

The unification of autonomous underwater vehicles /AUV/ developed in IMTP FEB RAS is important part of work. The base model of unified AUV is created with open mechanical and information architecture that is lightly modified for different tasks. The specific feature of this approach is wide range of equipment and sensors installed on board of AUV.

The AUV MMT 3000 series intended for operation on depth up to 3000 meters is one of examples of this approach. There were developed four AUV with different configuration that were used the same base. Other examples of AUV series is MARK and later X200 that are intended for operation on depth up to 200 meters.

Some details about mentioned AUV and fulfilled operations with their usage are described in the report. The vehicles of MMT 3000 series were used widely for operation in Arctic seas. In 2012 the work was intended for pollution task decision. The operation in 2016 was connected with investigation of the processes connected with bottom gas hydrate instability.

In 2017 the AUV "MMT-3000" with a modernized navigation system was used to carry out deep-sea operations for surveying of several sections of the seabed with a total length of more than 250 km. In accordance with the customer requirements each section should be traversed by two parallel lines at a distance of 50 m from each other. Thus, the total path length exceeded 500 km. The specified altitude of the AUV relative seabed during survey is 20 m, the specified speed of the AUV is 1 m/s. The maximum depth in the work area was not exceeded 2000 m. For one launch of the AUV, an average path length during a diving was about 20 km. In the longest dive the AUV surveyed a seabed section with a length about 37900 m in 10.5 hours. Some results of AUV operation for seabed survey of Okhotsk Sea in 2017 are supplemented.

In June 2017 IMTP FEB RAS fulfilled the research intended for estimation of the ecological state for Zolotoy Rog Bay (Golden Horn) in Vladivostok city. The purpose of the work was data obtaining for 3D information receiving about physical and chemical parameters of water in the vicinity of the influx of the Obyasneniya river into the bay. AUV of type MMT 3000 equipped with a regular autonomous navigation system (which

includes GPS, depth sensor, Doppler log, compass and echosounding system) was used to fulfill the task. The AUV also contains hydroacoustic link and navigation facilities. The vehicle was additionally equipped with FLCDR-926 and FLNTU-665 fluorimeters installed on the outside of the hull. The meter CTD-NV-2406 was used for temperature and salinity values measuring.

In the 2016 and 2018, a test experiment was performed in Vityaz Bay, the Sea of Japan with AUV for studying of hydroacoustic oscillations and waves transformation on border of system "hydrosphere - lithosphere" in natural conditions. Equipment for experiment includes the laser strainmeters system, the AUV with hydroacoustic receiver and low-frequency hydroacoustic oscillator (radiator). The AUV hydrophone registered pressure variations of the hydroacoustic field and the obtained data were memorized onboard AUV. At the same time the system of coastal laser strainmeters recorded the seismoacoustic waves resulting from transformation of hydroacoustic waves on border "water-bottom". The system of such equipment allows to investigate variations of pressure for the acoustic field in the studied water area and to carry out control of seismoacoustic waves. On the first stage in 2016 AUV MARK was used for marine experiment and in 2018 AUV MMT 3000 continued the investigations for improved scheme.

А.Ф. Щербатюк

О ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ АНПА, РАЗРАБОТАННЫХ В ИПМТ ДВО РАН

ИПМТ ДВО РАН, г. Владивосток

imtp@marine.febras.ru

Унификация разрабатываемых в ИПМТ ДВО РАН автономных необитаемых подводных аппаратов /АНПА/ является одним из важных направлений работы. При этом формируется базовая модель унифицированного АНПА с открытой конструктивной и информационной архитектурой, легко конфигурируемый под конкретную задачу, поэтому отличительной особенностью названных аппаратов является значительное расширение устанавливаемого поискового и измерительного оборудования.

Одним из примеров реализаций этой концепции была разработка АНПА ММТ 3000. Далее в развитие данной серии были созданы АНПА «Пилигрим», «Платформа» и «Имитатор». В 2017 году первый аппарат этой серии прошел модернизацию посредством установки унифицированной бортовой системы управления, расширения состава поискового оборудования и новых гидроакустических средств

навигации и связи. Другим примером является серия АНПА МАРК (Х200).

В докладе приведены некоторые сведения о названных аппаратах и ряде выполненных с их использованием практических работ. В октябре 2012 г. в районе архипелага Новая земля были выполнены работы с использованием АНПА «Пилигрим». В качестве системы навигации АНПА была использована гидроакустическая навигационная система с длинной базой (ГАНС ДБ). АНПА Платформа в 2016 г использовался в работах в Восточно-Сибирском море в рамках проекта ТПУ по изучению процессов в арктическом шельфе, являющихся следствием процесса глобального потепления.

В 2017 году успешно выполнен контракт по договору с ООО «Морская геодезия» по съемке морского дна с помощью АНПА ММТ 3000 для планирования прокладки оптокабеля от о. Сахалин до Курильских островов. Рабочие глубины – от 70 до 1800 метров. Подводным аппаратом пройдено 525 км со съемкой с помощью многолучевого ГБО, поддонного профилографа и магнитометра. С использованием АНПА типа ММТ 3000, оснащенного датчиками внешней среды (флюорометрами и STD-метром), ИПМТ совместно с ДВФУ в 2017 году выполнил работы в рамках проекта по оценке экологического состояния бухты Золотой рог во Владивостоке. Получены градиенты распределения физических и гидрохимических параметров водной среды вблизи места впадения реки Объяснения в бухту Золотой Рог.

В 2017 и 2018 годах ИПМТ совместно с ТОИ ДВО РАН выполнена работа по изучению закономерностей трансформации гидроакустических колебаний на границе раздела сред в прибрежной зоне и пространственно-временного распределения акустического поля в толще воды. Для измерений в толще воды в качестве носителя датчика уровня акустического сигнала использовались АНПА МАРК и ММТ 3000.

*B. Katalinich, S.V. Kuvshinov,
V.E. Pryanichnikov, A.A. Roganov, A.S. Trushkin,
K.V. Kharin, V.V. Chernyshov*

**THE DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM FOR
SERVICE AND UNDERWATER ROBOTS,
USING NETWORK TECHNOLOGIES**

*Vienna University of Technology, Vienna, Austria,
KIAM Russian Academy of Sciences, IINET RSUH,
MSTU "STANKIN", "TechInvest", Moscow,
Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
branko.katalinic@tuwien.ac.at, v.e.pr@yandex.ru*

The aim of the research was to find ways and means of unification of the hardware level of robotic and industrial systems, underwater robots, as well as combining these approaches with the developed technologies of intellectualization of sensor-control systems. The base of these works was the development of the integration, distributed software for a group development and control robotarium, including 3D-simulation, running in real time. Currently, 14 robots and 4 industrial stands, 3 cameras with 3-coordinate control are involved into the joint research, and a system of tunable remote control of the realized workshop was built. A mechatronic complex was created - a joint distributed scientific and experimental laboratory-robotariums, which are actively used for scientific and educational purposes on the joint research agreement (05.03.2016) between KIAM Russian Academy of Sciences, IINET RSUH, MSTU "Stankin", TU Vienna and other organizations on the project "Intelligent robotronics".

Keywords

Mobile service robots, underwater walking robots with supervisory control, intelligent robotronics.

*Б. Каталинич, С.В. Кувишинов,
В.Е. Пряничников, А.А. Роганов, А.С. Травушкин,
К.В. Харин, В.В. Чернышов*

**РАЗРАБОТКА УПРАВЛЕНИЯ СЕРВИСНЫМИ И
ПОДВОДНЫМИ РОБОТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Vienna University of Technology, г. Вена,
ИПМ им. Келдыша РАН, МИНОТ РГГУ,
МГТУ «СТАНКИН», ООО "ТехИнвест" г. Москва,
ВолгГТУ, г. Волгоград*

branko.katalinic@tuwien.ac.at, v.e.pr@yandex.ru

Целью исследований являлся поиск путей и средств унификации аппаратного уровня робототехнических и промышленных систем, подводных роботов, а также совмещение этих подходов с разрабатываемыми технологиями интеллектуализации сенсорно-управляющих систем. Базой этих работ стала разработка интегрированного, распределенного программного обеспечения (ПО) для групповых разработок и управления роботариумами, включая 3D симуляторы, работающие в реальном масштабе времени. В настоящее время для совместных исследований задействовано 14 роботов и манипуляторов, 4 промышленных стенда, 3 камеры с 3х-координатным управлением, а также создана система перестраиваемого дистанционного управления реализованным цехом. Создан мехатронный комплекс - совместная распределенная научно-экспериментальная лаборатория-роботариум, активно используемая для научно-учебных целей в рамках Соглашения о совместных исследованиях от 05.03.2016 между ИПМ им. Келдыша РАН, МИНОТ РГГУ, МГТУ "Станкин", Венским ТУ, СПбГТУ и другими организациями по проекту "Интеллектуальная роботроника". Благодаря унификации процесса интеграции разнотипных мехатронных устройств и построения соответствующего ПО, удалось многократно сократить путь от строительства низкоуровневых сенсорно-управляющих систем к интеллектуальным алгоритмам, реализующим дедуктивные механизмы. Созданы модели окружающей среды роботов, которые позволяют автоматически формировать траектории уклонения от подвижных и неподвижных препятствий по данным от лидаров, ультразвуковых и ТВ-сенсоров, в том числе, используя параллельные вычисления. Полученные в результате проведенных исследований, новые технологии программирования позволяют существенно ускорить процесс разработок новой техники за счет распределенного доступа и специальной организации взаимодействия программных компонент. Использование

многомерных логик позволило интеллектуализировать работу распределенных групп роботов в экстремальных условиях, тем самым снимая нагрузку оператора и обеспечивая улучшение качественных показателей. Разработанные принципы управления комплексами мехатронных устройств нашли применение, в создании удаленного управления сложным перестраиваемым производством по типу Индустрии 4.0 и для подводного шагающего аппарата [1,2].

Ключевые слова

Мобильные сервисные роботы, подводные шагающие роботы с супервизорным управлением, интеллектуальная робототроника.

1. Pryanichnikov V.E., Chernyshev V.V., Arykantsev V.V., Ayskin A.A., Eprikov S.R., Ksenzenko A.Ya., Petrakov M.S. (2018). Enhancing the Functionality of the Groups of Autonomous Underwater Robots, Proceedings of the 29th DAAAM Int. Symposium, pp.1319-1325, B. Katalinic (Ed.): DAAAM Int., ISBN 978-3-902734-20-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.190
2. Б.Каталинич, А.Я. Ксензенко, С.В.Кувшинов, Ю.С. Марзанов, Е.А. Прысев, В.Е. Пряничников, Р.В.Хелемендик, С.Р. Эприков // Разработка распределенных программно-аппаратных роботариумов. Экстремальная робототехника. // Труды Межд. н/техн. конференции. - Санкт-Петербург: ООО «АП4Принт», 2016. - 480 с., С.459-465. ISBN 978-5-9909163-3-3.

L.D. Smirnaya^{1,2}, E.S. Briskin^{1,2}
**THE INTERACTION OF THE FOOT WALKING
PROPULSION OF MOBILE UNDERWATER ROBOT
WITH THE BOTTOM SOIL**

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

*²Center for Technology Components of Robotics and Mechatronics,
Innopolis University, Innopolis, Russia
dtm@vstu.ru*

The control of normal reactions of walking propulsion devices underwater robots in the implementation of the traction force and the separation from the ground in the paper considered.

Keywords: propulsion device, underwater walking robot, pulling force, the force of resistance to motion.

One of the main problems in the development of underwater mobile robots for moving on the bottom surface is to ensure proper profile and reference maneuverability. Its decision can be based on the use of walking propulsion devices. Improving the reference maneuverability is an urgent task for ground vehicles, including mobile underwater robots. The main factor affecting the supporting permeability is the value of the normal reaction provided by the propulsion devices to the ground. For underwater robots, this effect is more significant due to the "compression effect". A characteristic feature of walking propulsion devices is that with the increase in normal reactions, the traction properties increase linearly, but at the same time, in proportion to the square of the normal reaction, the forces of resistance to movement increase. Another peculiarity is that normal reactions depend on the movement of the case relative to the stationary supports of the propulsion devices. However, these reactions can be controlled both by purposeful changes in the stiffness of the supports, and due to the vertical micro-displacement of the foot of the walking mechanism, as is practically possible, for example, for robots with orthogonal propulsion devices such as "Orthonog".

The work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 18-71-10069).

Л.Д. Смирная^{1,2}, Е.С. Брискин^{1,2}
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СТОПЫ ШАГАЮЩЕГО
ДВИЖИТЕЛЯ МОБИЛЬНОГО ПОДВОДНОГО
РОБОТА С ГРУНТОМ**

*¹Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград*

*²Центр технологий компонентов робототехники и мехатроники,
Университет Иннополис, г. Иннополис
dtm@vstu.ru*

В работе рассмотрено управление нормальными реакциями шагающих движителей подводных роботов при реализации тягового усилия и при отрыве от грунта.

Ключевые слова: движитель, подводный шагающий робот, тяговое усилие, сила сопротивления движения.

Одна из основных задач при разработке подводных мобильных роботов для перемещения по поверхности дна состоит в обеспечении должной профилейной и опорной проходимости. Ее решение может быть основано на применении шагающих движителей. Улучшение опорной проходимости – актуальная задача для наземных транспортных средств, в том числе и для мобильных подводных роботов. Основным фактором, влияющим на опорную проходимость, является величина нормальной реакции, оказываемая движителем на грунт. Для подводных роботов это влияние более значительно за счет «компрессионного эффекта». Характерная особенность шагающих движителей состоит в том, что с увеличением нормальных реакций линейно увеличивается тягово-сцепные свойства, но одновременно пропорционально квадрату нормальной реакции увеличиваются и силы сопротивления движению. Еще одна особенность состоит в том, что нормальные реакции зависят от перемещения корпуса относительно неподвижных опор движителей. Однако этими реакциями можно управлять, как за счет целенаправленного изменения жесткости опор, так и за счет вертикального микроперемещения стопы механизма шагания, как это практически возможно, например, для роботов с ортогональными движителями типа «Ортоног».

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 18-71-10069.

E.S. Briskin, V.A. Serov, S.A. Ystinov, V.N. Platonov
**ON ANCHOR-ROPE PROPULSION MOTION'S RATIONAL
MODES DURING THE MOVEMENT INTO A NEW POSITION**

*Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
dtm@vstu.ru*

One of the promising technologies for the exploration and production of hydrocarbons on the continental shelf may be the use of underwater drilling platforms with anchor-rope propellers, which are a kind of walking movers.

One of the main requirements for the operation of such underwater drilling complexes is to minimize energy consumption. At the same time, the energy saving mode should also be ensured during the underwater robotized complex's movement between the points where the technological task is performed.

The analysis of the walking machine's energy indices presented on [2], describes the dependence of energy consumption related to the phase of fulcrum's transferring on the speed modes of propulsion elements.

A similar analysis should be carried out for anchor-cable propulsion. Variants of the possible propulsion element's transferring paths (from p. A to p. B) during the single movement cycle phase are shown on the figure 1.

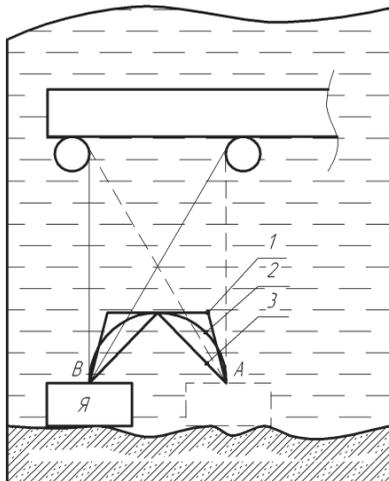


Figure 1 – Different trajectories of the anchor-rope propulsion's elements movement: 1- the trapezium path; 2 – the arc path; 3 – the triangle path

The criterion determining the choice of a particular trajectory is the minimization of energy consumption related to a single movement cycle:

$$A = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta t_i \rightarrow \min . \quad (1)$$

As a result of the simulation, the dependences of the energy consumption A on the characteristics of the propulsion's anchor movement mode are obtained.

1. Serov V A, Kovshov I V, Ustinov S A 2017 Tasks of technological robotic walking platforms in the development of underwater (ice) mineral deposits *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki*. 9 (194) pp 181-191.
2. Briskin E.S. 2009 Dynamics and motion control of walking machines with cyclic mechanisms (Volgograd: Mashinostroenie).

Е.С. Брисикин, В.А. Серов, С.А. Устинов, В.Н. Платонов
О РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ЯКОРНО-
ТРОСОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕНОСЕ
В НОВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

*Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, dtm@vstu.ru*

Возможной перспективной технологией разведки и добычи углеводородов на континентальном шельфе может стать применение подводных буровых платформ с якорно-тросовыми движителями, являющимися разновидностью шагающеподобных [1].

Одно из основополагающих требований к работе таких подводных буровых комплексов является минимизация энергопотребления. При этом режим энергосбережения должен обеспечиваться и при передвижении подводного роботизированного комплекса между точками выполнения технологической задачи.

В [2] представлен анализ энергетических показателей шагающих машин, в частности, зависимость энергозатрат в фазе переноса точки опоры от скоростных режимов элементов движителя.

Подобный анализ должен быть осуществлен и для якорно-тросовых движителей. Варианты возможных траекторий переноса элемента движителя в фазе одного цикла перемещения (из т. A в т. B) представлены на рисунке.

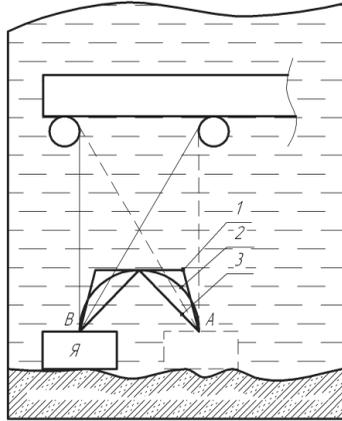


Рисунок 1 – Различные траектории переноса элементов якорно-тросового движителя: 1 – трапециевидная траектория; 2 – дугообразная траектория; 3 – треугольная траектория; Я – якорь.

Критерием, определяющим выбор той или иной траектории, является минимизация энергозатрат в единичном цикле переноса:

$$A = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta t_i \rightarrow \min , \quad (1)$$

где P_i – суммарная мощность обоих приводов в i -ой точке траектории;

t_i – время дискретизации траектории по времени.

В результате моделирования получены зависимости энергозатрат A от характеристик режима переноса якоря движителя в новое положение.

1. Серов В.А., Ковшов И.В., Устинов С.А. Задачи технологических роботизированных шагающих платформ при освоении подводных (подлёдных) месторождений полезных ископаемых // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. № 9 (194). С. 181-191.
2. Брискин Е.С. Динамика и управление движением шагающих машин с цикловыми двигателями / Е.С. Брискин , В.В. Жога, В.В. Чернышев, А.В. Малолетов; под ред. Е.С. Брискина. М.: Машиностроение, 2009. 192 с.: ил.

*A.V. Klekovkin¹, Yu.L. Karavaev¹,
A.A. Kilin², I.S. Mamaev¹*
**CONTROL SCREWLESS FISH-LIKE ROBOT
WITH INTERNAL ROTOR**

¹ *Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk,
Russia, klanvlad@mail.ru*

² *Udmurt State University, Izhevsk*

Many floating robotic vehicles move by rotating of propeller screws. Also mechanisms which copy organisms moving are popular. There are methods of moving in water by jet reaction drive, moving by transforming of body shape, moving by action of internal mechanisms.

Using moving by action of internal mechanisms all driving elements are in body and don't associate with fluid. As a result, a construction of these robots are simple because contact movable elements with water is missing. First theoretical researches were presented at the beginning 2000 years [1, 2].

The paper describes control problem of the screwless overwater fish-like mobile robot, driven by an internal rotating rotor. Existing fish-like robots moving by fin movement that is transforming of body shape [3, 4]. The robot has a rigid case, which doesn't be transform while moving.

Mathematical model of robot movement was developed. The equations describing the dynamic of moving of screwless fish-like robot taking into account circulation and viscous friction forces were written.

The robot is a hollow object shaped like a wing profile NACA 0040 (see Fig. 1) with dimensions of 340 x 134 mm. The height of the robot is 80 mm. The rotor with the motor is fixed inside the body. The motor is a gear-motor Pololu with encoder. Also there are the battery and control board with STM32F303K8 microcontroller inside the robot. To control the motor, a DC motor driver VNH3SP30 is used.

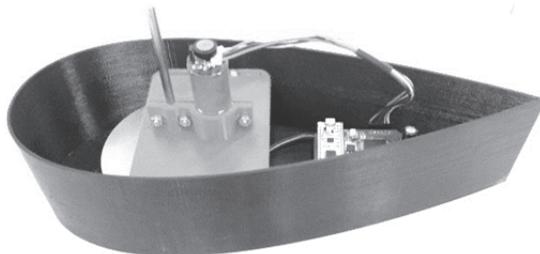


Figure 1 – Screwless fish-like robot with internal rotor

Some series of experimental researches with different control actions were carried out. It is shown that the nature and trajectory of motion depend significantly on the frequency of controls. The quantitative discrepancy of the simulation results is possible due to the fact that the fluid resistance and circulation coefficients are not constant, but depend on the speed of the robot in the liquid. In the future, it is planned to develop a mathematical model of motion, taking into account these dependencies.

The work was carried out within the framework of the state assignment 1.2405.2017/PCh and was supported by the RFBR grant No 18-08-00995-a.

1. Kozlov V. V., Ramodanov, S. M. The Motion of a Variable Body in an Ideal Fluid // *J. Appl. Math. Mech.*, 2001, vol. 65, no. 4, pp. 579–587.
2. Kozlov, V. V., Ramodanov, S. M. On the Motion of a Body with a Rigid Hull and Changing Geometry of Masses in an Ideal Fluid // *Dokl. Phys.*, 2002, vol. 47, no. 2, pp. 132–135.
3. Jatsun S., Lushnikov B., Politov E., Knyazev S. Underwater floating robot-fish: a comparative analysis of the results of mathematical modelling and full-scale tests of the prototype // *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2017. – Vol. 113, 02014, P. 1-5.
4. Jatsun S.F., Lushnikov B.V., Kazaryan K.G., Vorochaeva L. Yu., Vorochaev A.V. Design features of the bionic robot fish // *Proceedings of South-West State University. Series Technics and Technologies*. 2017. Vol. 7, No 2(23). pp. 94-102

А.В. Клековкин¹, Ю.Л. Караваяев¹, А.А. Килин², И.С. Мамаев¹
**УПРАВЛЕНИЕ БЕЗВИНТОВЫМ РЫБОПОДОБНЫМ
РОБОТОМ С ВНУТРЕННИМ РОТОРОМ**

*¹Ижевский Государственный Технический Университет
имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, klanvlad@mail.ru*

²Удмуртский Государственный Университет, Ижевск

В большинстве своем плавающие роботизированные устройства перемещаются в жидкости, используя вращающиеся гребенные винты, взаимодействующие с жидкостью. Также весьма популярны механизмы, основывающиеся на способах движения живых существ (рыб, змей и др.). Кроме того, известны такие способы перемещения в жидкости как перемещение при помощи реактивного двигателя, перемещение за счет изменения формы тела, а также перемещение за счет действия внутренних механизмов.

Движение за счет действия внутренних механизмов исключает прямой контакт приводных элементов с жидкостью, что значительно

упрощает их конструкцию. Появление первых теоретических работ о возможности такого движения относится к началу 2000 годов [1, 2].

В данной работе рассматривается задача управления безвинтовым надводным рыбоподобным роботом, приводимым в движение при помощи внутреннего вращающегося ротора. Существующие рыбоподобные роботы в основном перемещаются за счет движения плавников, то есть изменения формы робота [3, 4]. Рассматриваемый робот во время движения форму не изменяет, но принципы движения сохраняются.

Разработана математическая модель движения робота, записаны дифференциальные уравнения движения.

Робот представляет собой полый объект, в продольном сечении имеющий форму профиля крыла NACA 0040 (см. рисунок 1) длиной 340 мм, шириной 134 мм. Высота робота 80 мм. Внутри корпуса закреплен ротор с двигателем. В качестве двигателя использовался мотор-редуктор фирмы Pololu с энкодером. Внутри так же располагается элемент питания и плата с микроконтроллером модели STM32F303K8. Для управления двигателем используется драйвер двигателя постоянного тока VNH3SP30.

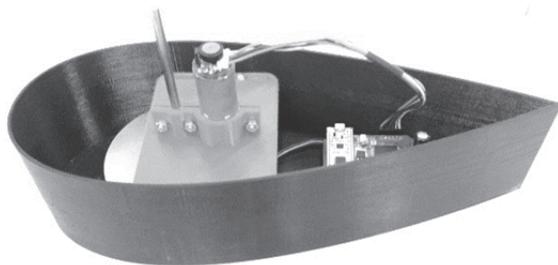


Рисунок 1 – Безвинтовой рыбоподобный робот

Проведено несколько серий экспериментальных исследований с разными управляющими воздействиями. Показано, что характер и траектория движения существенно зависят от частоты управлений. Количественное расхождение результатов моделирования возможно связано с тем, что коэффициенты сопротивления жидкости и циркуляция не являются постоянными, а зависят от скорости движения робота в жидкости. В дальнейшем планируется построить математическую модель движения, с учетом данных зависимостей.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 1.2405.2017/ПЧ и, при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 18-08-00995-а.

1. Козлов В.В., Рамоданов С.М. О движении изменяемого тела в идеальной жидкости // ПММ. — 2001. — Т. 65, вып. 4. — С. 592–601.
2. Козлов В.В., Рамоданов С.М. О движении в идеальной жидкости тела с жесткой оболочкой и меняющейся геометрией масс // Докл. РАН. - 2002. - Т. 382, No 4. - С. 478-481.
3. Jatsun S., Lusnikov B., Politov E., Knyazev S. Underwater floating robot-fish: a comparative analysis of the results of mathematical modelling and full-scale tests of the prototype // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – Vol. 113, 02014, P. 1-5.
4. С.Ф. Яцун, Б.В. Лушников, К.Г. Казарян, Л.Ю. Ворочаева, А.В. Ворочаев. Конструктивные особенности бионического робота-рыбы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2017. Т.7, №2(23). С.94-102.

V.B. Schneider, I.P. Janayt, I.A. Shavyrin
**DESIGNING A HYDROACOUSTIC RANGE SENSOR OF
THE UNDERWATER ROBOT NAVIGATION COMPLEX**

*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow
vschndr@gmail.com*

The need in precise navigation for the underwater technics is defined by the tasks and purposes of the unmanned underwater vehicles (robots). An accurate navigation system is needed for localization, positioning, tracking, guidance and control. A typical navigational system of unmanned underwater vehicles (UUV) includes a magnetic compass, angle sensors (roll, trim), angular velocity sensors (yaw, roll, trim) and a depth sensor. However, an important feature of the navigation system is the use of sonar sensors that serve to prevent autonomous vehicles from colliding with obstacles (pier, ship hull, examined objects, bottom). To solve this problem, different types of acoustic systems are used: with a narrow directional beam, scanning systems (electronically or mechanically). Single-channel acoustic systems with a narrow directivity pattern have traditionally been used to solve problems of navigation, as an altimeter, and to prevent collisions, as a measure of distances to obstacles.

This report discusses the design of a sonar distance-measuring sensor, designed to solve navigation problems as part of the navigation system of underwater vehicles, as well as tasks to prevent collisions of underwater vehicles with obstacles. Developed system characteristics are presented in table 1.

Table 1. Sonar distance measuring sensor characteristics

Parameter	Value
Working frequency, kHz	500
Antenna beam width at -3 dB level, degrees	±3
Operating frequency bandwidth, kHz	50
Minimum measurable range, m	0,1
Maximum measured distance, m	100
Range resolution, mm	1,5
Data update rate, Hz	1 - 10
Working depth, m	600
Overall dimensions, mm	50x250

The measured parameters of the manufactured sensor modules allow us to calculate the maximum range, taking into account the real system

sensitivity, and the achieved signal compression parameters. The calculated values of the range depending on the noise at the input are shown in Fig. 1. The reflection coefficient from the bottom is assumed to be -18 dB, the pulse duration is 10 ms.

Calculations show that the acoustic distance-measuring sensor has an input noise margin for operation in a wide range of underwater vehicle motion modes.

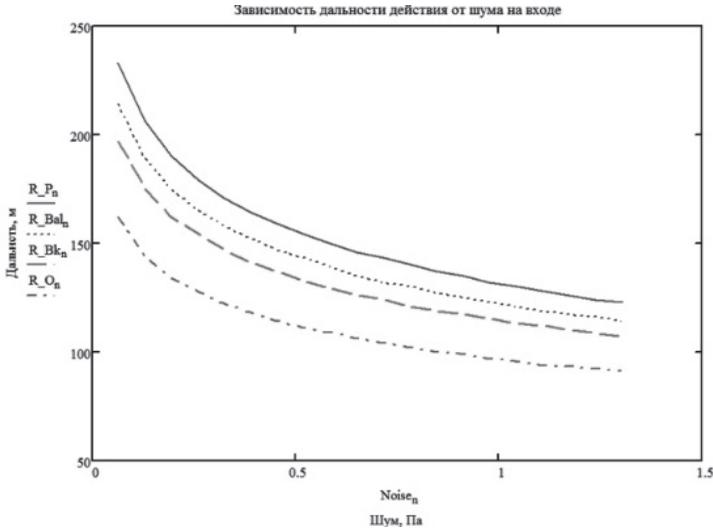


Figure 1 – Range depending on the noise at the entrance for the environment of different salinity. Designations: R_P – fresh water; R_Bal – Baltic; R_Bk – Black Sea; R_O – World Ocean

For typical use conditions without additional external noise, the expected range varies from 260 meters for fresh water to 180 m in the ocean.

Conclusion

The justification of the requirements for the acoustic distance-measuring sensor has been fulfilled. The specificity of the application is given and the features of its design are considered.

At present, the modeling has been completed, all the sensor components have been tested, a prototype has been manufactured, and its field tests are being prepared.

В.Б. Шнайдер, И.П. Янайт, И.А. Шавырин
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО
ДАЛЬНОМЕРНОГО ДАТЧИКА НАВИГАЦИОННОГО
КОМПЛЕКСА ПОДВОДНОГО РОБОТА

*Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), Москва
vschndr@gmail.com*

Потребность в точной навигации для подводной техники определяется задачами и назначениями необитаемых подводных аппаратов (роботов). Точная навигационная система необходима для локализации, позиционирования, отслеживания пути, наведения и контроля. Типовая навигационная система необитаемых подводных аппаратов (НПА) включает в себя магнитный компас, угловые датчики (крен, дифферент), датчики угловых скоростей (рыскание, крен, дифферент) и датчик глубины. Однако, немаловажной особенностью навигационной системы является использование гидроакустических датчиков, служащих для предотвращения столкновения автономных аппаратов с препятствиями (пирс, корпус судна, обследуемые объекты, дно). Для решения этой задачи используются разные типы акустических систем: с узким направленным лучом, сканирующих систем (электронно или механически). Одноканальные акустические системы с узкой диаграммой направленности традиционно применяются для решения задач обеспечения навигации, в качестве высотомера, и для предотвращения столкновения с препятствиями, в качестве измерителя расстояний до препятствий.

В данном докладе рассматривается проектирование гидроакустического датчика измерения расстояния, предназначенного для решения навигационных задач в составе навигационной системы подводных аппаратов, а также задач по предупреждению столкновений подводных аппаратов с препятствиями. Характеристики разрабатываемой системы представлены в таблице 1.

Измеренные параметры изготовленных модулей датчика позволяют выполнить расчет максимальной дальности, учитывающий реальную чувствительность системы, достигнутые параметры сжатия сигналов. Рассчитанные значения дальности действия от шума на входе приведены на рисунке 9. Коэффициент отражения от дна принят равным -18 дБ, длительность импульса – 10 мс.

Расчеты показывают, что акустический дальномер имеет запас по входному шуму для работы в широком диапазоне режимов движения подводного аппарата.

Таблица 1.

Характеристики гидроакустического дальномерного датчика

Параметр	Значение
Рабочая частота, кГц	500
Ширина диаграммы направленности антенны по уровню -3дБ, градус	±3
Ширина полосы рабочих частот, кГц	50
Минимальная измеряемая дальность, м	0,1
Максимальная измеряемая дальность, м	100
Разрешение по дальности, мм	1,5
Частота передачи данных, Гц	1 - 10
Рабочая глубина, м	600
Габаритные размеры, мм	50x250

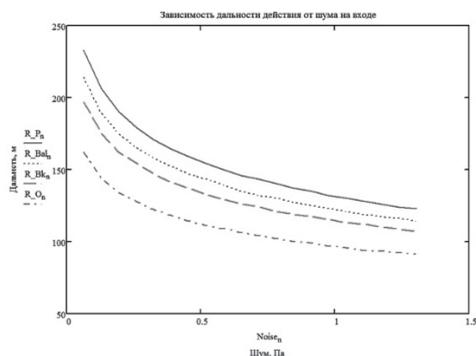


Рисунок 1 – Зависимость дальности действия от шума на входе для среды различной солёности. Обозначения: R_P – пресная вода; R_Val – Балтика; R_Bk – Черное море; R_O – Мировой океан

Для типовых условий применения без посторонних внешних шумов ожидаемая дальность действия варьируется от 260 метров для пресной воды до 180 м в океане.

Заключение

Выполнено обоснование требований, предъявляемых к акустическому датчику измерения расстояния. Приведена специфика применения и рассмотрены особенности его проектирования.

В настоящее время закончено моделирование, испытаны все составные элементы датчика изготовлен опытный образец, готовятся его натурные испытания.

*V.S. Taradonov, A.P. Blinkov, I.V. Kozhemyakin,
V.A. Ryzhov, D.N. Shamanov, D.A. Dmitriev*

**THE CONCEPTUAL SHAPE OF THE ROBOTIC UNDERWATER –
SURFACE VEHICLE OF THE INCREASED AUTONOMY WITH
CHANGEABLE GEOMETRY OF THE HULL FOR THE SYSTEM
OF ROBOTIZED UNDERWATER SEISMIC EXPLORATION IN
SUBGLACIAL WATER AREAS**

*Saint-Petersburg State Marine Technical University
office@smtu.ru*

The main results of initiative researches on development of conceptual shape of the prospective robotic underwater - surface unmanned vehicle of the increased autonomy with changeable hull geometry are presented, options of its use at the solution of a wide range of tasks [1] are given. In particular, there are presented options of its use in the system of robotic underwater seismic exploration in subglacial water areas [2] and in information-measuring network when carrying out oceanographic researches [3].

In the short term oceanographic researches have to be conducted integrated with use both traditional (research ship, drifting and the anchored buoy-based station) and innovative research tools (spacecrafts, gliders, AUVs). Their integrated use is capable to lower considerably expenses and to compensate separate shortcomings each of research tools.

On the basis of the carried out analysis of the leading foreign states advanced developments the specialists of St. Petersburg State Marine Technical University developed conceptual shape of the prospective Robotic Surface - Underwater Unmanned Vehicle of the Increased Autonomy (RSUUV IA) with changeable hull geometry considerably exceeding the best foreign analogs by the efficiency.

Its concept allows to combine high speed at development to the region of purpose (fulfilment of its mission) and independence from hydro-meteorologic conditions in the underwater mode. Calculations of its main hydrodynamic and power characteristics are carried out as consistent with the proven techniques, modern production technique of power engine installations and their actual parameters.

The offered surface - underwater autonomy unmanned vehicle is capable to work efficiently, practically, under any weather conditions. On still water and at small rough sea it can move in surface and semisubmersible mode and also in the mode of operation of the diesel under water. At confused sea or in the difficult ice situation this vehicle will move under water.

The analytical calculations given in article have approximate character and confirm only possibility in principle of creation such surface-underwater vehicle. Further development of the concept requires carrying out research on development of creation technology RSUUV IA with changeable hull geometry and to validation of its design parameters and also development work on creation of a pilot sample.

1. "Research and development of conceptual shape of the perspective Robotic Underwater-Surface Unmanned Vehicle of the Increased Autonomy (RUSUV IA) with changeable geometry of the hull for search and tracking underwater objects in a long-range sea zone" (Code "Shadow"). Saint-Petersburg State Marine Technical University, GNIITS RT of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Report on research, 2018.
2. Gaykovich B.A., Zanin V.Yu., Taradonov V.S., Kozhemyakin I.V., Tokarev M.Yu., Biryukov E.A. The concept of robotic underwater seismic exploration in subglacial water areas. The collection of works of winners of the international competition of the scientific, scientific and technical and innovative developments aimed at the development and development of the Arctic and the continental shelf, 2018, pp. 64-86.
3. Kozhemyakin I.V., Christmas K.V., Ryzhov V. A. Development of the technical platform of a global sea information and measuring system on the basis of glider tipe autonomous unmanned vehicle . The Russian innovative technologies for development of hydrocarbon resources of the continental shelf, 2016, pp. 91-108.

*В.С. Тарадонов, А.П. Блинков, И.В. Кожемякин,
В.А. Рыжов, Д.Н. Шаманов, Д.А. Дмитриев*
**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ОБЛИК РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО
ПОДВОДНО-НАДВОДНОГО АППАРАТА ПОВЫШЕННОЙ
АВТОНОМНОСТИ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ
КОРПУСА ДЛЯ СИСТЕМЫ РОБОТИЗИРОВАННОЙ
ПОДВОДНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ПОДЛЁДНЫХ
АКВАТОРИЯХ**

*Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет, office@smtu.ru*

Представлены основные результаты инициативных научно-исследовательских работ по разработке концептуального облика перспективного робототехнического подводно-надводного необитаемого аппарата повышенной автономности с изменяемой геометрией корпуса, приведены варианты его использования при решении широкого круга задач [1]. В частности, представлены варианты его использования в системе роботизированной подводной сейсморазведки в подлёдных акваториях [2] и в информационно-измерительной сети при проведении океанографических исследований [3].

В ближайшей перспективе океанографические исследования должны проводиться комплексно с использованием как традиционных (НИС, дрейфующие и заякоренные буйковые станции), так и инновационных исследовательских средств (космические аппараты, глайдеры, АНПА). Их совместное применение способно значительно снизить затраты и компенсировать отдельные недостатки каждого из исследовательских средств.

На основе проведенного анализа передовых разработок ведущих зарубежных государств специалисты СПбГМТУ разработали концептуальный облик перспективного робототехнического надводно-подводного необитаемого аппарата повышенной автономности (РПНА ПА) с изменяемой геометрией корпуса, значительно превышающего по своей эффективности лучшие зарубежные аналоги.

Его концепция позволяет сочетать высокую скорость хода при разворачивании в район предназначения (выполнения работ) и независимость от ГМУ в подводном режиме. Проведены расчеты его основных гидродинамических и мощностных характеристик в соответствие с проверенными методиками, современными технологиями изготовления энергосиловых установок и их фактическими параметрами.

Предложенный надводно-подводный автономный необитаемый аппарат способен эффективно работать, практически, при любых

погодных условиях. На тихой воде и при малом волнении он может двигаться в надводном и полупогружном положениях, а также в режиме движения под РДП. При большом волнении или в сложной ледовой обстановке этот аппарат будет двигаться под водой.

Приведенные в статье аналитические расчеты имеют приближенный характер и подтверждают только принципиальную возможность создания такого надводно-подводного аппарата. Для дальнейшего развития концепции требуется проведение НИР по разработке технологии создания РПНА ПА с изменяемой геометрией корпуса и подтверждению его расчетных характеристик, а также ОКР по созданию опытного образца.

1. «Исследование и разработка концептуального облика перспективного робототехнического надводно-подводного необитаемого аппарата повышенной автономности (РПНА ПА) с изменяемой геометрией корпуса для поиска и слежения за подводными объектами в дальней морской зоне» (Шифр «Тень»). ГНИИЦ РТ МО РФ, СПбГМТУ. Отчет по НИР, 2018 г.
2. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Тарадонов В.С., Кожемякин И.В., Токарев М.Ю., Бирюков Е.А. Концепция роботизированной подводной сейсморазведки в подлёдных акваториях. Сборник работ лауреатов международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа, 2018 г., стр. 64-86.
3. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А. Разработка технической платформы глобальной морской информационно-измерительной системы на основе автономных необитаемых аппаратов типа глайдер. Российские инновационные технологии для освоения углеводородных ресурсов континентального шельфа, 2016, с. 91-108.

A.S. Shustov, A.E. Kutsko, S.V. Belov
**COMPACT POSITIONING, DATE TRANSMISSION
AND VOICE COMMUNICATION SYSTEM
FOR UNDERWATER APPLICATIONS**

Saint-Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU)
semte@semte.ru

Underwater system being designed by SPbSMTU for positioning robots and divers, voice communications and remote control, digital data transmission is demonstrated. The system consists of multifunctional surface and diver stations, compact beacon transponders and high-speed digital modems. One of the key features of the system is the ability to underwater searching with surface and divers stations, independently of each other. The structural diagrams of major system components and description of used algorithms are presented. The analysis of the factors affecting positioning accuracy are made. The results of prototype field tests are shown in condition of shallow water.

A.C. Шустов, А.Е. Куцко, С.В. Белов
**МАЛОГАБАРИТНАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ,
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ГОЛОСОВОЙ СВЯЗИ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВОДНЫХ РАБОТ**

*Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет (СПбГМТУ)*
semte@semte.ru

Рассмотрена разрабатываемая в СПбГМТУ гидроакустическая система позиционирования подводных аппаратов и водолазов, голосовой связи и телеуправления, цифровой передачи данных. Система состоит из многофункциональных поверхностных и водолазных станций, малогабаритных маяков-ответчиков и высокоскоростных цифровых модемов. Особенностью системы является возможность гидроакустического поиска места аварийной ситуации с помощью поверхностных и водолазных станций независимо друг от друга. Представлены структурные схемы основных составляющих системы и описание используемых алгоритмов. Проведен анализ факторов, влияющих на точность позиционирования. Приведены результаты натурных испытаний макетных образцов в условиях мелкого моря.

A.A. Sinishin, I.A. Putintsev, A.A. Krechin, I.V. Shestakov
DEVELOPMENT OF STUDENT ENGINEERING BUREAU
OF SMTU IN THE AREA OF MARINE ROBOTICS

State Marine Technical University, Saint Petersburg
andrey24-95@mail.ru

This work is a description of the projects of the Student Engineering Bureau (SEB) of St. Petersburg State Marine Technical University. The work describes student projects: an autonomous unmanned underwater vehicle (AUV) (Fig. 1), a remotely operated vehicle (ROV) (Fig. 2), for hydrographic surveys (Fig. 3) [1]. Works on the design of all systems, components and mechanisms of devices were performed. Also, control electronics, mechanical systems, and electronic circuit boards were developed. In addition, dry tests of separate and adjacent systems were carried out and some tests were conducted in the pool. These devices took part in competitions [2].

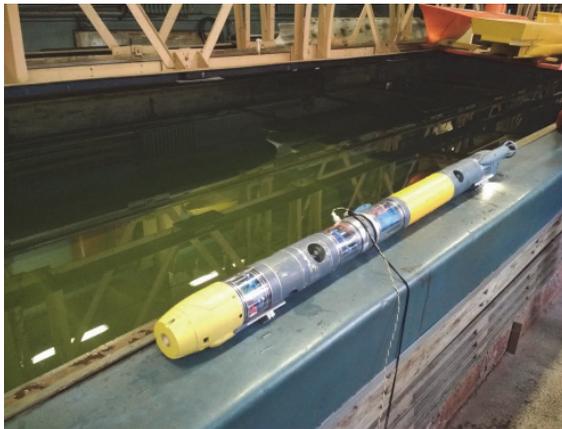


Figure 1 – AUV



Figure 2 – ROV



Figure 3 – For hydrographic surveys

1. Kozhemyakin I.V., Semenov N.N., Chemedanov M.N. Razvitiye podvodnoy robototekhniki v SMTU Sovremennyye tekhnologii v korablestroitel'nom i aviatsionnom obrazovanii, nauke i proizvodstve; tematicheskiy sbornik NGTU im. R.Ye. Alekseyeva. - Nizhniy Novgorod, 2016, p. 95-106 2.
2. Kozhemyakin I.V., Ryzhov V.A., Semenov N.N., Chemedanov M.N. Issledovaniye vliyaniya skorosti i dal'nosti svyazi mezhd elementami mul'tiagentnoy seti podvodnykh robotov na yeye ustoychivost' k izmeneniyu usloviy raboty. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskkiye nauki. №1 (195), fevral'-mart 2018. ISSN 1999-9429. - p. 227-241.

А.А. Синишин, И.А. Путинцев, А.А. Кречин, И.В. Шестаков
РАЗРАБОТКИ СТУДЕНЧЕСКОГО КОНСТРУКТОРСКОГО
БЮРО СПБГМТУ В СФЕРЕ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

*Санкт-Петербургский государственный морской технический
университет, Санкт-Петербург
andrey24-95@mail.ru*

Данная работа представляет собой описание проектов студенческого конструкторского бюро (СКБ) Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. В работе описываются студенческие проекты: автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) (рис. 1), телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) (рис. 2), промерное судно (рис. 3) [1]. Участниками проектов выполнены работы по проектированию всех систем, узлов и механизмов аппаратов, разработана управляющая электроника, механические системы, электронные платы, проведение сухих испытаний отдельных систем, проведение испытаний в бассейне, участие в соревнованиях, проведение ряда испытаний смежных систем [2].

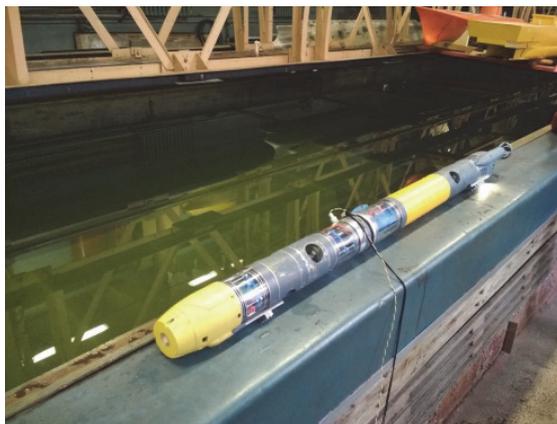


Рисунок 1 – АНПА



Рисунок 2 – ТППА



Рисунок 3 – Промерное судно

1. Кожемякин И.В., Семенов Н.Н., Чемоданов М.Н. Развитие подводной робототехники в СПбГМТУ Современные технологии в кораблестроительном и авиационном образовании, науке и производстве; тематический сборник НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2016, с. 95-106
2. Кожемякин И.В., Рыжов В.А., Семенов Н.Н., Чемоданов М.Н. Исследование влияния скорости и дальности связи между элементами мультиагентной сети подводных роботов на ее устойчивость к изменению условий работы. Известия ЮФУ. Технические науки. №1 (195), февраль-март 2018. ISSN 1999-9429. - с. 227-241.

S.Yu. Pribylov, V.V. Sergeev, V.N. Karpov, V.A. Sokolov
FEATURES OF CONSTRUCTION OF ACTIVE
VISION SYSTEMS FOR AUTONOMOUS
UNDERWATER VEHICLES

*JSC «Research Institute of television», Saint-Petersburg,
npk-62ypr@niitv.ru*

Equipment of Autonomous or remote-controlled unmanned underwater vehicles (ANPA, tnpa), designed to operate at different depths of immersion, up to 6000 m underwater vision systems can solve a wide range of both scientific and applied problems of development of the Oceans, including problems of defense value.

Due to the lack or complete absence of natural light at working depths, the underwater vision system in addition to the television camera installation should have an external illumination system that provides the necessary level of illumination of the object of observation to obtain the necessary quality of photo and video materials. Given this fact, a system of underwater vision are further referred to as active system for underwater vision (ASPV).

The visibility range and quality of the images obtained in the water environment is greatly affected by backscattering interference (PORE).

The report discusses the spatial separation options to reduce PORES and increase the range of visibility. It is shown that the separation of the light source and the field of view of the receiver with the agreed radiation angles is the most effective method.

Based on the analysis of the main lighting characteristics of modern light sources, it is shown that the most promising are led sources when creating ASPV systems for ANPA. The main parameters of the led underwater device ASPV JSC "research Institute of television".

Based on the results of an objective comparison of matrices and TV cameras using the EMVA1288 STANDARD, the recommendations of their choice for use in underwater vision systems are given. It is shown that in order to increase the range of visibility in the aqueous medium, the photodetector ASPV should have a high contrast sensitivity, resolution and a lower threshold of absolute sensitivity.

The report presents the main technical parameters, the block diagram and the algorithm of the ASPV.

Work in JSC "research Institute of television" to create ASPV for ANPA is carried out in the framework of a joint project with JSC "Concern "NGO "Aurora".

Ю.С. Прибылов, В.В. Сергеев, В.Н. Карнов, В.А. Соколов
ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АКТИВНЫХ СИСТЕМ
ВИДЕНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, nрк-62ypr@niitv.ru

Оснащение автономных или телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (АНПА, ТНПА), предназначенных для работы на различных глубинах погружения, вплоть до 6000 м системами подводного видения позволяет решать широкий спектр как научных, так и прикладных задач освоения Мирового океана, в том числе задач оборонного значения.

Из-за недостатка или полного отсутствия естественной освещенности на рабочих глубинах, система подводного видения помимо телевизионной камерной установки должна иметь систему внешней подсветки, обеспечивающую необходимый уровень освещенности объекта наблюдения для получения необходимого качества фото-видео материалов. Учитывая это обстоятельство, систему подводного видения далее будем называть активной системой подводного видения (АСПВ).

На дальность видимости и качество получаемых изображений в водной среде в значительной степени влияет помеха обратного рассеяния (ПОР).

В докладе рассмотрены варианты пространственного разнесения для уменьшения ПОР и увеличения дальности видимости. Показано, что разнесение с согласованными углами излучения источника света и поля зрения приемника является наиболее эффективным методом.

На основе анализа основных светотехнических характеристик современных источников света показано, что наиболее перспективными являются светодиодные источники при создании систем АСПВ для АНПА. Приведены основные параметры светодиодного подводного прибора АСПВ АО «НИИ телевидения».

По результатам объективного сравнения матриц и ТВ-камер с применением стандарта EMVA1288, даются рекомендации их выбора для использования в системах подводного видения. Показано, что для увеличения дальности видимости в водной среде, фотоприёмное устройство АСПВ должно иметь высокую контрастную чувствительность, разрешающую способность и меньший порог абсолютной чувствительности.

В докладе приведены основные технические параметры, структурная схема и алгоритм работы АСПВ.

Работы в АО «НИИ телевидения» по созданию АСПВ для АНПА ведутся в рамках реализуемого совместного проекта с АО «Концерн «НПО «Аврора».

A.V. Prokonich, S.I. Kosyanchuk
TELEVISION TECHNOLOGY FOR
REFLECTIVE RESEARCH

Research Institute of Television JSC, St. Petersburg
prokonicha@mail.ru, kosyanchuk@niitv.ru

Television systems (TVS) in the underwater environment are widespread. The fuel assemblies are used in various studies of underwater space, the search for open deposits of underwater minerals, construction work, control over the state of underwater objects, etc. The influence of fuel assemblies on the study of underwater space is essential, since a person quickly acquires information obtained by visual means.

The purpose of this work is to find problems faced by operators in the operation of submarine fuel assemblies, and methods for solving them. Considered fuel assemblies designed to observe underwater space, installed on various AUV and TNPA

In the course of the conducted research, results were obtained by analyzing which information was obtained about the main shortcomings of submarine fuel assemblies. Using the data obtained, work was carried out whenever possible to eliminate the deficiencies. The main disadvantages of underwater fuel assemblies are: the inability to adapt to changing conditions, there are no systems for suppressing backscatter interference, there are no mechanisms for increasing the quality of the resulting image, the initial choice of poor components for creating a television system.

As a result, the following results were obtained:

- developed an algorithm for adapting the system to external conditions;
- methods for minimizing backscatter interference;
- methods to increase image quality;
- the data obtained to create a methodology for constructing adaptive underwater fuel assemblies.

The results of this work allow to improve the quality of work of already existing underwater fuel assemblies due to their modernization and build new fuel assemblies that can work with equal efficiency regardless of conditions.

А.В. Проконич, С.И. Косянчук
ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ
ПОВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург
prokonicha@mail.ru, kosjanchuk@niitv.ru

Телевизионные системы (ТВС) в подводной среде получили широкое распространение. ТВС применяются при различных исследованиях подводного пространства, поиске открытых залежей подводных ископаемых, проведении строительных работ, при контроле над состоянием подводных объектов и т.д. Влияние ТВС на изучение подводного пространства существенно, так как человек быстрее усваивает информацию, полученную визуальным путем.

Целью данной работы является поиск проблем, с которыми сталкиваются операторы при эксплуатации подводных ТВС, и методы их решения. Рассматривались ТВС, предназначенные для наблюдения подводного пространства, установленные на различные АНПА и ТНПА

В ходе проведенных исследований были получены результаты, проанализировав которые были получены сведения об основных недостатках подводных ТВС. Используя полученные данные, были проведены работы по возможности устранения недостатков. Основными недостатками подводных ТВС являются: отсутствие возможности адаптироваться к меняющимся условиям, нет систем подавления помехи обратного рассеивания, нет механизмов увеличения качества получаемого изображения, изначальный выбор плохих комплектующих для создания телевизионной системы.

В результате работы были получены следующие результаты:

- разработан алгоритм адаптирования системы к внешним условиям;
- методы минимизации помехи обратного рассеивания;
- методы увеличения качества изображения;
- получены данные для создания методики построения адаптивных подводных ТВС.

Результаты данной работы позволяют улучшить качество работы уже существующих подводных ТВС за счет их модернизации и строить новые ТВС, которые могут работать с одинаковой эффективностью в независимости от условий.

I.A. Kudryvtsev, N.V. Kiselev
UNPAILED AMPHIBIC PLATFORM

*FGBOU of the "Volga State University of Technology",
Yoshkar-Ola, Russia
Student.KiselevNV@mechsys.ru*

Abstract

At the present stage of development of technology, the world is entering the digital era of unmanned transport, both in the air, on earth, and in the aquatic environment. Robots are called complex technical devices capable of replacing a person when performing dangerous, fairly complex objects where it is impossible or dangerous to place a person. (UAP), can be used to deliver goods in emergency situations, reconnaissance operations, and rescue operations. It is possible to use UAP in military actions, for reconnaissance, delivery and patrol of territories. UAP can replace a number of floating vehicles. The main advantage of UAP is: high speed, high maneuverability, small size. High response rate. All-wheel drive UAP with rotary propulsion is designed for movement in two environments: water and land. Also on board is a group of unmanned aerial vehicles for special reconnaissance in several directions simultaneously.

Introduction

The goal of the development is to create a universal, high-speed and maneuverable unmanned vehicle used in two environments, water and land. UAP is a trimaran, with three leading propellers, the front propeller is rotary. It can accommodate a certain number of passengers and cargo volume. It can be used for local operations in coastal zones, in water zones with the need for reconnaissance or rescue operations. It has the ability to travel to remote and inaccessible areas for reconnaissance, by organizing unmanned aerial reconnaissance vehicles. UAP, like all unmanned vehicles, excludes the human factor, not infrequently leading to serious consequences.

Solution methods

Development of a paddle wheel, performing the function of a water propulsion due to elastic blades-blades and the function of a land propulsion due to the folding blades themselves and a rubber wheel profile. The platform is a four-wheel drive trimaran with two rear propellers and one front, pivoting propeller. The propellers are made of a disk with built-in hard blades, a rubber profile with cutouts is installed over the disk to cover the blades. When moving along the water surface, the blades open and set in motion the platform, while moving on a solid surface, the platform moves

due to the hook of the rubber profile. The body of the trimaran is similar to the car body, and the front part of the trimaran is a boat with two floats-guides.

Findings

Bladed propeller will allow you to create a simple design of an amphibious platform with high maneuverability, high speed and high efficiency. The proposed solution with an unmanned control system will enable operation in various locations and reservoirs, the possibility of rapid reconnaissance in impassable and hard-to-reach areas.

1. Yakimov N.M. Software Tool for Complex Mathematical Modeling of Complex Technical Objects / N.M. Yakimov, S.N. Chuvashov // Information Technologies. - 2014. - № 11. - P. 23-30.
2. Chaynikov KM, Kormin T.G., Mokhov R.V. Unlimited motor vehicles: device, work principle, types and prospects // Scientific community of students of the XXI century. Technical Sciences: Sat. Art. on mat. LX int. stud scientific-practical conf. No. 12 (59).
3. Azovtsev, A.I., Voiloshnikov, M.V. Amphibic transport for implementation of the strategy of development of the arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security till 2020.

И.А. Кудрявцев, Н.В. Киселев
БЕСПИЛОТНАЯ АМФИБИЙНАЯ ПЛАТФОРМА

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
технологический университет», г. Йошкар-Ола
KiselevNV@mechsys.ru*

Аннотация

На современном этапе развития техники мир вступает в цифровую эру беспилотного транспорта как в воздухе, на земле и водной среде. Роботами называют сложные технические устройства способные заменить человека при выполнении опасных, достаточно сложных объектах, где невозможно или опасно разместить человека. Беспилотная амфибийная платформа (БАП) может применяться для доставки грузов при чрезвычайных ситуациях, разведывательных операциях, аварийно-спасательных операциях. Возможно применения БАП в военных действиях, для разведки, доставки и патрулирования территорий. БАП может заменить ряд плавающих транспортных средств. Основным преимуществом БАП является: быстроходность, высокая маневренность, малогабаритность. Высокая скорость реагирования. Полноприводная БАП с поворотным движителем предназначена для передвижения в двух средах: водная и сухопутная. Так же на борту находится группа беспилотных воздушных средств для особой разведки в нескольких направлениях одновременно.

Введение

Целью разработки является создание универсального, быстроходного и маневренного беспилотного транспортного средства, применяемого в двух средах, водной и сухопутной. БАП представляет собой тримаран, с тремя ведущими движителями, передний движитель – поворотный. БАП способна размещать на борту определенное количество пассажиров и объём груза, может использоваться для локальных операций в прибрежных зонах, в водных зонах, использоваться в разведывательных или спасательных операциях. БАП имеет возможность выезда в труднодоступные и недоступные зоны для разведки, путем организации беспилотными воздушными средствами разведывательных действий. БАП, как и все беспилотные транспортные средства исключает человеческий фактор, нередко влекущий к тяжелым последствиям.

Методы решения

Разработка лопастного колеса, выполняющего функцию водного движителя за счет упругих пластин-лопастей и функцию сухопутного движителя за счет самоскладывающихся лопастей и резинового профиля колеса. Платформа представляет собой полноприводной тримаран с двумя задними движителями и одним передним

поворотным двигателем. Двигатели выполнены из диска со встроенными жесткими лопастями. Поверх диска установлен резиновый профиль с вырезами для укрытия лопастей. При движении по водной поверхности лопасти раскрываются и приводят в движение платформу, при движении по твердой поверхности, платформа движется за счет зацепа резинового профиля. Корпус тримарана представляет собой схожие элементы с кузовом автомобиля, а передняя часть тримарана представляет собой катер с двумя поплавками-направляющими.

Выводы

Лопастной двигатель позволит создать простую конструкцию амфибийной платформы, обладающей высокой маневренностью, быстроходностью и с высоким КПД. Предлагаемое решение с беспилотной системой управления даст возможность эксплуатации в различных местностях и водоемах, возможность быстрой разведки в непроходимых и труднодоступных зонах.

1. Якимов Н.М. Программное Средство Для Комплексного Математического Моделирования Сложных Технических Объектов / Н.М. Якимов, С.Н. Чувашев // информационные технологии. – 2014. – № 11. – Р. 23-30.
2. Чайников К.М., Кормин Т.Г., Мохов Р.В. Беспилотные автотранспортные средства: устройство, принцип работы, виды и перспективы // Научное сообщество студентов XXI столетия. технические науки: сб. ст. по мат. LX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 12(59).
3. Азовцев А.И., Войлошников М.В. Амфибийный транспорт для реализации стратегии развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года.

***I.V. Pashkevich, A.V. Grinenkov, G.V. Konyukhov, L.A. Martynova,
A.O. Pronin, G.A. Podshivalov, V.V. Prokopovich, N.I. Gorbachev***
**FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF AUV EMERGENCY
SUBSYSTEM DURING THE USE OF MULTI-AGENT
TECHNOLOGY IN ITS CONTROL SYSTEM**

*Concern Central Research Institute Electropribor, St. Petersburg
iv@bk.ru, grin_a_v@mail.ru, kongv1@yandex.ru, martynowa999@bk.ru,
pronin.ao@gmail.com, 930730@mail.ru, wm.prokopowich@yandex.ru,
gorbachev_ni @ elprib. ru*

The formation of a “bridge between Europe and Asia” in the water area using autonomous uninhabited underwater vehicles (AUV) is associated with the need to overcome their ultra-long distances and increase the risk of ANPA falling into danger zones [1], in which AUV accidents can occur. Accidents on the AUVA have economic and environmental consequences. Previously, such problems were practically not considered, since at short distances the occurrence of dangerous zones for the AUV is unlikely.

The purpose of the work was to analyze the causes of emergency situations, the formation of signs by which hazardous areas can be identified, the ability of the AUV systems to detect these symptoms, the organization of the information control system and the classification of pre-emergency and emergency conditions of the AUV.

The causes of emergency situations on the AUV may be external factors associated with the ingress of the AUV in the hazardous areas, which were not predicted in advance because of the possible deviation of the AUV from the route and the drift of the danger zone.

Dangerous zones for the AUV [1] are increased shipping zones, fishing net setting zones, shallow sea zones with complex uneven relief, ice drift zones, garbage “island” zones, current zones and underwater volcanoes.

Sources of information about the penetration of the AUV into the danger zone include: the means of lighting the situation that can detect icebergs, garbage "islands" and fishing nets; a navigation system that allows you to detect strong currents and whirlpools; and the system of the marching propulsion and steering complex (MDRC), which compares the parameters of the position of the rudders and the rotation of the propellers with the navigation data and the results of predicting the behavior of the AUV using the mathematical dynamic model.

Classification of entangling AUVs in the fishing net can be carried out by detecting the situation of the fishing net at short distances by the lighting system and the inconsistency of the current position of the AUV according to the navigation subsystem, determined by the mathematical dynamic

model, when the propulsion unit is working. The classification of the ingress of the AUV into the garbage "island" can be performed by detecting the garbage "island" by means of the situation lighting system and sticking fragments of garbage on the screw blades or steering wheels, which can, in turn, be recognized by the discrepancy between the speed of rotation of the propeller and the speed of the AUV, (in the case of winding on the screw or jamming), changes in the buoyancy of the AUV and inadequate response of the AUV to the shifting of the steering wheels. Inadequate behavior of the AUV is estimated using the mathematical dynamic model of the AUV. The complexity of processing the above situations required a review of the organization of the control system [2], as a result of which, despite the autonomy of each of the systems, they all report data to the control system of technical means in terms of diagnosing systems and detecting signs capable of classifying areas potentially dangerous for AUV.

The results of the analysis make it possible to foresee in the algorithms for processing information arriving at the entrances by the AUV systems, identifying and classifying signs that were previously of no interest: fishing nets, garbage islands, currents, and also take them into account along with traditional ice detection, additional information about the area. increased shipping, etc. All this will contribute to the trouble-free navigation of the AUV, including over long distances.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 17-08-00666, No. 19-08-00253).

1. Illarionov G.Yu., Laptev K.Z., Matvienko A.P. Additional requirements for autonomous uninhabited long-range underwater vehicles // Proceedings of the 7th All-Russian Conference "Technical Problems of the Development of the World Ocean", October 2-6. - Vladivostok. - 2017. - pp. 25-33.
2. Martynova LA, Mashoshin A.I. Building a control system for autonomous, uninhabited underwater vehicles based on multi-agent technology. Izvestia SFU. Technical science. 2016. № 2 (175). Pp. 38-48.

***И.В. Пашкевич, А.В. Гриненков, Г.В. Конюхов, Л.А. Мартынова,
А.О. Пронин, Г.А. Подшивалов, В.В. Прокопович, Н.И. Горбачев***
**ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АВАРИЙНОЙ ПОДСИСТЕМЫ
АНПА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ В ЕГО СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», г. Санкт-Петербург
iv@bk.ru, grin_a_v@mail.ru, kongvl@yandex.ru, martynowa999@bk.ru,
pronin.a.o@gmail.com, 930730@mail.ru, wm.prokopowich@yandex.ru,
gorbachev_ni@elprib.ru*

Формирование «моста между Европой и Азией» на акватории с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) связано с необходимостью преодоления ими сверхдальних расстояний и возрастанию риска попадания АНПА в опасные зоны [1], в которых возможно возникновение аварий на АНПА. Аварии на АНПА приводят к экономическим и экологическим последствиями. Ранее подобные проблемы практически не рассматривались, поскольку на незначительных расстояниях возникновение опасных зон для АНПА маловероятно.

Цель работы заключалась в анализе причин аварийных ситуаций, формировании признаков, по которым могут быть выявлены опасные зоны, способности систем АНПА обнаружить эти признаки, организации работы системы управления по обработке информации и классификации предаварийных и аварийных состояний АНПА.

Причинами аварийных ситуаций на АНПА могут быть оказаться внешние факторы, связанные с попаданием АНПА в опасные зоны, которые оказались заранее не спрогнозированы ввиду возможного отклонения АНПА от маршрута и дрейфа опасной зоны.

Опасными зонами для АНПА являются [1] зоны повышенного судоходства, зоны постановки рыболовных сетей, зоны мелкого моря со сложным неровным рельефом, зоны ледохода, зоны мусорных «островов», зоны течений и подводных вулканов.

К источникам информации о попадании АНПА в опасную зону относятся: средства освещения обстановки, способные обнаружить айсберги, мусорные «острова» и рыболовные сети; навигационная система, позволяющая обнаружить сильные течения и водовороты; и система маршевого движительно-рулевого комплекса (МДРК), сопоставляющая параметры положения рулей и вращения движителей – о с навигационными данными и результатами прогнозирования поведения АНПА с использованием математической динамической модели.

Классификацию запутывания АНПА в рыболовной сети можно провести по обнаружению системой освещения обстановки

рыболовной сети на ближних дистанциях, несоответствию при работающем двигателе текущего положения АНПА по данным навигационной подсистемы положению, определяемому по математической динамической модели. Классификацию попадания АНПА в мусорный «остров» можно выполнить по обнаружению мусорного «острова» средствами системы освещения обстановки и налипанию фрагментов мусора на винтовые лопасти или рули, которые можно, в свою очередь, распознать по несоответствию скорости вращения двигателя и скорости движения АНПА, перегреву двигателя (в случае наматывания на винт или его заклинивания), изменению плавучести АНПА и неадекватной реакции АНПА на перекладку рулей. Неадекватное поведение АНПА оценивается с использованием математической динамической модели АНПА. Комплексность обработки перечисленных ситуаций потребовала пересмотра организации системы управления [2], в результате которой, несмотря на автономность работы каждой из систем, все они сообщают данные системе управления техническими средствами в части диагностирования систем и обнаружения признаков, способных классифицировать потенциально опасные для АНПА зоны.

Результаты анализа позволяют предусмотреть в алгоритмах обработки информации, поступающей на входы системами АНПА, выявление и классификацию признаков, ранее не представляющих интереса: рыболовные сети, мусорные острова, течения, а также учесть их в обработке наряду с традиционными обнаружениями ледовой обстановки, дополнительной информации о районе повышенного судоходства и т.д. Все это будет способствовать безаварийности плавания АНПА, в том числе и на дальние расстояния.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 17-08-00666, № 19-08-00253).

1. Илларионов Г.Ю., Лаптев К.З., Матвиенко А.П. Дополнительные требования к автономным необитаемым подводным аппаратам дальнего радиуса действия // Материалы 7-ой Всероссийской конференции «Технические проблемы освоения мирового океана», 2-6 октября. – Владивосток. – 2017. – с.25-33.
2. Мартынова Л.А., Машошин А.И. Построение системы управления автономных необитаемых подводных аппаратов на базе мультиагентной технологии // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 2 (175). С. 38-48.

A.M. Maevskiy, B.A. Gaykovich
**DEVELOPMENT OF HYBRID AUTONOMOUS UNDERWATER
VEHICLE FOR THE RESEARCH OF HYDROCARBON DEPOSITS**

*Southern Federal University and Oceanos JSC,
Russia, Rostov-on-Don and Saint-Petersburg
maevskiy_andrey@mail.ru, bg30@mail.ru*

Russia accounts for about a quarter of all offshore hydrocarbon reserves in the world, including 40 out of 60 large Arctic deposits [1]. According to the President of the Russian Federation, Vladimir Putin, in the Arctic zone there is a concentrated overwhelming proportion the share of all-Russian and common mineral reserves: gold - 40%, oil - 60%, gas - from 60 to 90% [2].

In terms of their aggregate oil and gas potential, the sedimentary basins of the Russian Arctic shelf are comparable to the largest oil and gas regions of the world. According to Rosneft specialists, by 2050 the Arctic shelf will provide from 20 to 30 percent of all Russian oil production and its development will require about 2.5 trillion dollars. USA.

To solve these problems, in the authors' opinion, the use of autonomous uninhabited underwater vehicles capable of conducting deep-sea research in extreme conditions for humans is obvious [3].

This report describes the process of developing a lightweight hybrid interventional AUV that has an electric manipulator complex on board [4]. The layout of the main modules of the hybrid AUV is shown in Figure 1.

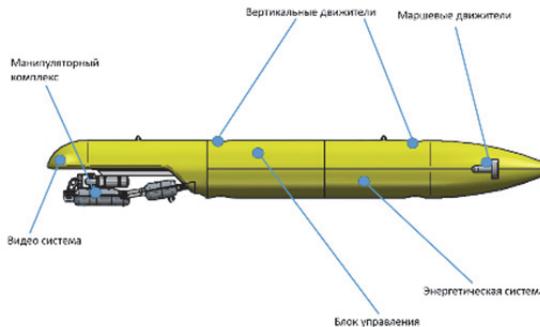


Figure 1 – The layout of the modules of the hybrid interventional AUV

The main task of the tests was: evaluation of the characteristics of the control system of the hybrid AUV and manipulator in a combined mode, testing the system of stabilization of the apparatus with the aim of maintaining the depth and spatial position during the operation of the MC. The results of the work are presented in Figure 2.



Figure 2 – The work of the depth stabilization system of the apparatus during the operation of the MC

As a result of the work, it can be noted that the first domestic sample of a hybrid autonomous uninhabited underwater vehicle capable of ensuring full-fledged manipulator complex operation was developed and successfully tested, including with a significant amount of standard RROV toolkit according to ISO 13628-8 (API 17D). The developed device has enough space to install additional equipment, such as methane sensors, a high-precision fluorescent sensor, various analyzers, etc. The tests performed demonstrate the operation of the hybrid AUV in extremely unfavorable conditions (ultra-low depths, a mode with limited maneuvering zone, etc.)

1. <https://neftegaz.ru/news/Geological-exploration/240207-bolee-40-krupnykh-mestorozhdeniy-uglevodorodov-v-arktike-v-rossiyskom-sektore-zhdut-dobychi/> (circulation date: 04/04/19)
2. <https://tass.ru/ekonomika/6319060> (appeal date: 14.04.19)
3. Gaykovich BA, Zanin V. Yu., Kozhemyakin I. V. Aspects of the practical application of underwater gliders based on trial operation // New defense order No. 4 (41) 2016 P.78-81
4. Zanin V.Yu., Kozhemyakin I.V Manipulator complex for underwater work at the bottom infrastructure facilities of the offshore oil and gas complex in the under-ice conditions in shallow and deep-water areas // Collection of works by laureates of the International Competition of Scientific, Scientific, Technical and Innovative Developments Aimed at development and development of the Arctic and the continental shelf in 2018. C.53-58.

А.М. Маевский, Б.А. Гайкович
**РАЗРАБОТКА ГИБРИДНЫХ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ**

*Южный Федеральный Университет и АО “НПП ПТ “Океанос”,
Ростов-на-Дону и Санкт-Петербург
maevskiy_andrey@mail.ru, bg30@mail.ru*

На Россию приходится около четверти всех шельфовых запасов углеводородного сырья в мире, включая 40 из 60 крупных Арктических месторождений [1]. По оценкам Российской академии наук, на которые сослался президент России Владимир Путин, в арктической зоне сосредоточена подавляющая доля общероссийских и общемировых запасов полезных ископаемых: золота — 40%, нефти — 60%, газа — от 60 до 90% [2].

По своему совокупному нефтегазовому потенциалу осадочные бассейны российского арктического шельфа сравнимы с крупнейшими нефтегазоносными регионами мира. По оценкам специалистов компании «Роснефть», к 2050 году Арктический шельф будет обеспечивать от 20 до 30 процентов всей российской нефтедобычи и на его освоение потребуется около 2,5 трлн дол. США.

Для решения данных задач, по мнению авторов, очевидным является применение автономных обитаемых подводных аппаратов способных в течении долгого времени проводить глубоководные исследования в экстремальных для человека условиях [3].

В настоящем докладе рассмотрен процесс разработки легкого гибридного интервенционного АНПА имеющего на своем борту электрический манипуляторный комплекс [4]. Схема расположения основных модулей гибридного АНПА изображена на рисунке 1.

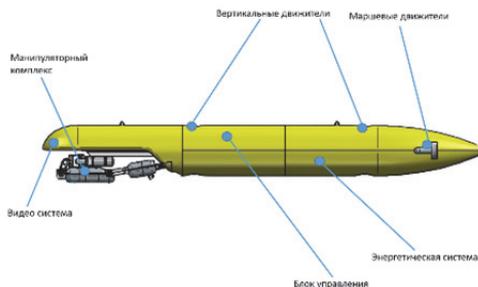


Рисунок 1 – Схема расположения модулей гибридного интервенционного АНПА

Основной задачей испытаний являлась: оценка характеристик системы управления гибридным АНПА и манипулятором в

комбинированном режиме, обработка системы стабилизации аппарата с целью возможности удержания глубины и пространственного положения при работе МК. Результаты работы представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Работа системы стабилизации глубины аппарата во время работы МК

В результате работ можно отметить что был разработан и успешно испытан первый отечественный образец гибридного автономного необитаемого подводного аппарата способного обеспечить полноценную работу манипуляторного комплекса, в том числе с значительным объёмом стандартной номенклатуры инструментария РТПА согласно ISO 13628-8 (API 17D). Разработанный аппарат имеет достаточное место для установки дополнительного оборудования, такого как датчики метана, высокоточный флуоресцентный сенсор, различные анализаторы и пр. Проведенные испытания демонстрируют работу гибридного АНПА в крайне неблагоприятных условиях (сверхмалые глубины, режим с ограничениями по маневровой зоне и т. д.)

1. <https://neftegaz.ru/news/Geological-exploration/240207-bolee-40-kрупnykh-mestorozhdeniy-uglevodorodov-v-arktike-v-rossiyskom-sektore-zhdut-dobychi/> (дата обращения: 14.04.19)
2. <https://tass.ru/ekonomika/6319060> (дата обращения: 14.04.19)
3. Гайкович Б.А., Занин В. Ю., Кожемякин И. В. Аспекты практического применения подводных глайдеров на базе опытной эксплуатации // Новый оборонный заказ № 4 (41) 2016 С.78-81
4. Занин В.Ю., Кожемякин И.В. Манипуляторный комплекс для подводной работы на объектах донной инфраструктуры морского нефтегазового комплекса в подледных условиях мелководных и глубоководных районах»// Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2018 года. С.53-58.

*D.A. Frolov, D.A. Gromoshinskiy, A.M. Korsakov,
E.Yu. Smirnova, A.V. Popov*
**DETECTION OF UNDERWATER METAL-CONTAINING
OBJECTS WITH FUSION OF FLUXGATE SENSORS
WITH NAVIGATIONAL DATA**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
d.frolov@rtc.ru*

In the course of repairing or replacing undersea infrastructure objects passing along the sea bottom, there are problems of their detection and assessment of their length. To solve the problems of detecting metal-containing objects (gas pipelines, etc.) there exist two main types of electromagnetic sensors: active and passive. For an active detection method, additional energy is required for irradiation of the scanning signal into the surrounding space. At the same time, the active detection principle is characterized by resistance to external sources of magnetic fields (MF), both environmental and created by the carrier of the magnetic sensor. On the experimental AUV electromagnetic sensors of the passive type were installed. In contrast to the active, the passive sensors require compensation for the effects of external magnetic fields, which can have a significant impact on the readings of the probes. To search for metal-containing objects, it is proposed to use two passive three-component fluxgate probes mounted on the bow and stern of the vehicle. The presence of two probes separated by a known distance from each other allows to calculate the gradient of the magnetic field between the probes by simply subtracting the readings of the sensors. Calculation of the gradient compensates the influence of external magnetic fields, the impact of which on each of the sensors is the same. When crossing a metal-containing object, it is firstly registered by the bow sensor, and then on the stern one. In this case, a characteristic pattern is observed in the gradient signal — the alternation of the maximum and minimum (minimum and maximum) of the gradient. The presence of such a pair of extremes is a necessary condition for the detection. The comparison involved 4 different combinations of candidate selection and analysis algorithms, the results are presented in Table 1. Numbers in the first column correspond to: algorithm without orientation correction and form validation (1), algorithm without orientation correction with form validation (2), algorithm with orientation correction without form validation (3), and algorithm with orientation correction and form validation (4).

Table 1. Results of experiments with various algorithms

Algorithm	True positive	False positives	False negative	True / all detections, (%)
1	67	85	0	44.1
2	27	9	5	65.9
3	63	60	0	51.2
4	31	5	2	81.6

1. Kohler, B. U., Hennig, C., & Orglmeister, R. (2002). "The principles of software QRS detection" *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 21(1), 42-57.
2. S. Bulárka and A. Gontean, "EEG pattern recognition techniques review," *2015 IEEE 21st International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, Brasov, 2015, pp. 273-276.
3. Abbott, Benjamin P., et al. "Observation of gravitational waves from a binary black hole merger." *Physical review letters* 116.6 (2016): 061102.
4. S. Suppappola and Y. Sun, "Nonlinear transforms of ECG signals for digital QRS detection: A quantitative analysis," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 41, pp. 397-400, 1994.
5. Kadambe, S., Murray, R., & Boudreaux-Bartels, G. F. (1999). Wavelet transform-based QRS complex detector. *IEEE Transactions on biomedical Engineering*, 46(7), 838-848.
6. Neocleous, A., Azzopardi, G., Kuitens, M., Scifo, A., & Dee, M. (2019). Trainable filters for the identification of anomalies in cosmogenic isotope data. *IEEE Access.*, 7.

*Д.А. Фролов, Д.А. Громошинский, А.М. Корсаков,
Е.Ю. Смирнова, А.В. Попов*

**ОБНАРУЖЕНИЕ ПОДВОДНЫХ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ
ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ
ПОКАЗАНИЙ ПАССИВНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ
И ДАННЫХ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
d.frolov@rtc.ru*

С активным развитием человеческой активности под водой и подъемом индустрии автономных необитаемых подводных аппаратов перед исследователями и инженерами встанет задача обслуживания и ремонта подводных коммуникаций. Для этого могут использоваться автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), или телеуправляемые НПА (ТНПА), осуществляющие, к примеру, инспекцию трубопроводов. В статье рассмотрен алгоритм обработки сигнала датчиков, используемых для поиска металлосодержащих объектов на дне с помощью пассивных ферромагнитных датчиков, установленных на носителе. Предложена схема проведения такого измерения – установка двух датчиков на противоположных концах носителя. Это позволяет сформировать сигнал градиента индукции магнитного поля между датчиками. Определена характерная форма такого сигнала и зависимость сигнала от параметров движения аппарата и внешних факторов. С целью исключения ложных срабатываний используются фильтры, основанные на использовании показаний датчиков положения, скорости и ориентации навигационной системы. Использование данных о движении аппарата позволяет сгенерировать эталонный сигнал, который используется для валидации обнаружения объекта методом кросс-корреляции, а использование данных об углах ориентации даёт возможность компенсировать влияние движения аппарата в магнитном поле Земли. В сравнении участвовали 4 различных комбинации алгоритмов выделения кандидатов и их анализа, результаты представлены в Табл.1.

Таблица 1. Результаты экспериментов с различными алгоритмами: алгоритм без коррекции ориентации и валидации формы (1), алгоритм без коррекции ориентации с валидацией формы (2), алгоритм с коррекцией ориентации без валидации формы (3) и алгоритм с коррекцией ориентации и валидацией формы (4).

Algorithm	True positive	False positives	False negative	True / all detections, (%)
1	67	85	0	44.1
2	27	9	5	65.9
3	63	60	0	51.2
4	31	5	2	81.6

1. Kohler, B. U., Hennig, C., & Orglmeister, R. (2002). "The principles of software QRS detection" *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 21(1), 42-57.
2. S. Bulárka and A. Gontean, "EEG pattern recognition techniques review," *2015 IEEE 21st International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, Brasov, 2015, pp. 273-276.
3. Abbott, Benjamin P., et al. "Observation of gravitational waves from a binary black hole merger." *Physical review letters* 116.6 (2016): 061102.
4. S. Suppappola and Y. Sun, "Nonlinear transforms of ECG signals for digital QRS detection: A quantitative analysis," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 41, pp. 397-400, 1994.
5. Kadambe, S., Murray, R., & Boudreaux-Bartels, G. F. (1999). Wavelet transform-based QRS complex detector. *IEEE Transactions on biomedical Engineering*, 46(7), 838-848.
6. Neocleous, A., Azzopardi, G., Kuitens, M., Scifo, A., & Dee, M. (2019). Trainable filters for the identification of anomalies in cosmogenic isotope data. *IEEE Access.*, 7.

I.A. Vasilyev¹, A.M. Lyashin²

**CONCEPT OF IMPROVING RELIABILITY IN ROBOTICS BY
MEANS OF APPLICATION OF EVIDENCE PROGRAMMING**

¹ *Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint-Petersburg, vas@rtc.ru*

² *Health Samurai, Saint-Petersburg, andruiman@gmail.com*

The rapid development of robotics in the past few decades brings to one of the forefront the reliability of robotic systems [1]. The principles of improving the reliability of the hardware of the RTK are well known [1]. The question of the reliability of the software management systems technical equipment is still the subject of research and is not fully formalized. In the future, by software reliability, we understand the compliance of the developed software with the specified specifications. At the same time, as an extreme degree of reliability, we understand this correspondence in full strict measure.

In the last 30 years systems of so-called have become known and increasingly used. "Formal verification" of the program code presented in the form of source texts. The latter fact, in particular, means that verification is static, since it analyzes the text of the program, and not its work on real equipment. The verification itself, in a number of methods, can be a formal proof (!). Of the compliance of the program code of the specification and is carried out on an abstract mathematical model of the system, under the assumption that the correspondence between the mathematical model and the nature of the system is initially specified. For example, by building a model or mathematical analysis and proof of the correctness of algorithms and programs. Despite their fundamental properties, unfortunately, these systems have not yet received wide distribution.

Nevertheless, the authors have recently conducted a large complex of studies and approbations, dedicated to the possibility of developing software products together with simultaneous proof of their correctness. These works were carried out mainly in the specialized Coq system [2], which "... is a software package designed to formalize and verify the correctness of mathematical reasoning. It is a logical environment that allows one to describe mathematical theories and to construct proofs in an interactive semi-automatic mode"[3].

In the Coq system, you can prove programs written exclusively within the same system. On the one hand, this may seem inconvenient, since this system is built on formal logic and may be unusual for programmers who are used to writing in operator imperative languages like Java, C / C ++ or Python. But Coq allows translation from its internal language to compiled languages, such as Haskell, O'Caml, and besides, the development of a

translator at the source code level and to others, including imperative languages, seems to be a fully realizable task. In this case, the software authors have to rely on the correctness of the built translator, as well as on the correctness of the subsequently used compiler and / or virtual machine (in particular, the interpreter) of the final programming language. It should be noted that despite the above limitations, the proof of the properties of the constructed programs still provides a significant contribution to the verification of the reliability of software packages.

The Coq system is built on the ideology of intuitionistic logic and the theory of types CiC (calculus of inductive constructions) [3], which allows us to construct constructive proofs and extract the corresponding algorithms from them in the form of verification programs. In this case, the correctness of the constructed proofs is verified automatically by reducing to the problem of checking the correctness of the typing of terms in the CiC system.

As a demonstration of the possibility of using the Coq system to prove the properties of algorithms that are applicable in the problem of motion planning for ground-based robotic tools, the authors verified the algorithm A^* [4] of the route search on the graph of possible states of the RTK. As the latter, a graph with vertices of allowed geometric states of a mobile platform and arcs of allowed transitions between them can be used.

In fact, statements are interpreted by types, and predicates - by families of types, depending on parameters.

1. I.M. Makarov. Robotics: problems and prospects (in Russian) . Electronic resource: <https://is.gd/HbstVe> (28.04.2019)
2. Software Foundations. Electronic resource: <https://softwarefoundations.cis.upenn.edu/> (28.04.2019)
3. V.N. Krupsky, S.L. Kuznetsov. Workshop on mathematical logic. Coq M. (in Russian), Moscow State University Publishing House, 2013
4. The principle of the algorithm A^* (in Russian). Electronic resource: <http://www.gamedev.ru/articles/?id=70121> (28.04.2019)

И.А. Васильев¹, А.М. Ляшин²

**КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ В
РОБОТОТЕХНИКЕ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ
ДОКАЗАТЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

¹ ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, vas@rtc.ru

² Health Samurai, Санкт-Петербург, andruiman@gmail.com

Бурное развитие робототехники в последние несколько десятилетий выводит на один из первых планов надёжность робототехнических систем [1]. Принципы повышения надёжности функционирования аппаратной части РТК давно известны [2]. Вопрос

надёжности же программного обеспечения систем управления техническими средствами до сих пор является предметом исследований и не является вполне формализованным. В дальнейшем под надёжностью программного обеспечения мы понимаем соответствие разработанного ПО заданным спецификациям. При этом в качестве крайней степени надёжности мы понимаем это соответствие в полной строгой мере.

В последние 30 лет стали известны и все более широко применяться системы т.н. «формальной верификации» программного кода, представленного в виде исходных текстов. Последний факт, в частности, означает, что верификация является статической, поскольку анализирует именно текст программы, а не ее работу на реальном оборудовании. Сама верификация, в ряде методов, при этом может представлять собой формальное доказательство(!) соответствия программного кода спецификации и проводится на абстрактной математической модели системы, в предположении о том, что соответствие между математической моделью и природой системы является изначально заданным. Например, по построению модели либо математического анализа и доказательства правильности алгоритмов и программ. Несмотря на свои фундаментальные свойства, к сожалению, широкого распространения эти системы пока не получили.

Тем не менее, за последнее время авторами был проведён большой комплекс исследований и апробаций, посвящённый возможности разработки программных продуктов совместно с одновременным доказательством их корректности. Эти работы проводились, в основном, в специализированной системе Coq [3], которая «...является программным комплексом, предназначенным для формализации и проверки правильности математических рассуждений. Она представляет собой логическую среду, позволяющую описывать математические теории и в интерактивном полуавтоматическом режиме строить доказательства» [3].

В системе Coq можно доказывать программы, написанные исключительно внутри этой же системы. Это, с одной стороны, может показаться неудобным, так как эта система построена на формальной логике и может быть непривычна для программистов, привыкших писать на операторных императивных языках типа Java, C/C++ или Python. Но Coq позволяет осуществлять трансляцию со своего внутреннего языка на компилируемые языки, такие как Haskell, O'CamL, и кроме того разработка транслятора на уровне исходного кода и на другие, в том числе императивные языки, представляется вполне реализуемой задачей. В этом случае авторам программного обеспечения приходится рассчитывать на корректность построенного

транслятора, а также и на корректность применяемого впоследствии компилятора и/или виртуальной машины (в частности интерпретатора) финального языка программирования. Надо заметить, что несмотря на указанные ограничения, доказательство свойств построенных программ, по-прежнему дает существенный вклад в верификацию надежности программных комплексов.

Система Coq построена на идеологии интуиционистской логики и теории типов CiC (calculus of inductive constructions) [4], что позволяет строить конструктивные доказательства и извлекать из них соответствующие алгоритмы в виде верификационных программ. При этом правильность построенных доказательств проверяется автоматически посредством сведения к задаче проверки правильности типизации термов в системе CiC.

В качестве демонстрации возможности применения системы Coq для доказательства свойств алгоритмов, применимых в задаче планирования движения для наземных робототехнических средств, авторами проведена верификация алгоритма A* [5] поиска маршрута на графе возможных состояний РТК. В качестве последнего может быть использован граф с вершинами разрешенных геометрических состояний мобильной платформы и дугами разрешенных переходов между ними.

Фактически, высказывания интерпретируются типами, а предикаты – семействами типов, зависящими от параметров.

1. И.М. Макаров. Робототехника: проблемы и перспективы. Электронный ресурс: <https://is.gd/HbstVe> (дата обращения 28.04.2019)
2. Г. Майерс. Надёжность ПО. М., «МИР»1980.
3. Software Foundations. Электронный ресурс: <https://softwarefoundations.cis.upenn.edu/> (дата обращения 28.04.2019)
4. В.Н. Крупский, С.Л. Кузнецов. Практикум по математической логике. COQ. М., Изд-во МГУ, 2013
5. Принцип работы алгоритма A*. Электронный ресурс: <http://www.gamedev.ru/articles/?id=70121> (дата обращения 28.04.2019)

A.S. Golubev, O.V. Litvinov, A.V. Bakhshiev, I.V. Vasilyev
**RESEARCH OF APPLICATIONS OF THE REINFORCEMENT
LEARNING IN HYPER-REDUNDANT AUTONOMOUS
UNDERWATER VEHICLE CONTROL PROBLEMS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
alexab@rtc.ru*

Despite the enormous progress in automation, there are still areas of human activity, where the automation either extremely inefficient or there is no automation at all. These operations are very simple and any low-skill staff can easily handle them. Many of these «automation-free» niches could be filled with highly adaptive and autonomous mobile robots.

“Intellectualization” of mobile robots is the most important direction of mobile robotic development. This term here means increasing of the level of robot adaptability to complex rapidly changing external conditions or increasing of the degree of autonomy from the human-operator. The main difficulties consist in algorithmic software design which allows automatically control robots’ movement.

The paper discusses the various approaches to the synthesis of control algorithms for mobile robots [1, 2, 3]. Deep reinforcement learning algorithms are compared [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Based on comparison and study of algorithms the conclusion is made about the possible application of algorithms deep reinforcement learning to control Autonomous unmanned underwater apparatus. The technique of implementation of the ANPA model in the Gym physical simulator [11] was also proposed.

1. L.Silva, A.Silva An Evolutionary Algorithm for Autonomous Robot Navigation // The International Conference on Computational Science. – 2013.
2. L.A.Zadeh The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information Sciences, Volume 8, Issue 3, 1975, Pages 199-249.
3. C.Florensa, D.Held Automatic Goal Generation for Reinforcement Learning Agents // arXiv:1705.06366. – 2018.
4. T.P. Lillicrap Continuous control with deep reinforcement learning et al // arxiv 1509.02971
5. J.Schulman, F.Wolski, P.Dhariwal, A.Radford, O.Klimov Proximal Policy Optimization Algorithms // arXiv:1707.06347v2. – 2017.
6. J.Schulman, S.Levine Trust Region Policy Optimization // arXiv:1502.05477v5. – 2017.
7. D.P.Kroese Cross-Entropy Method // arXiv:1503.01842v1. – 2015.
8. V. Mnih Human-Level Control through Deep Reinforcement Learning // journal Nature, 2015.

9. Z.Wang T.Schaul Reinforcement Learning : An Introduction // arxiv.org:1511.06581. – 2016.
10. R.Sutton, A.Barto Dueling Network Architectures for Deep Reinforcement Learning // The MIT Press. – 2017.
11. G.Brockman, V.Cheung «OpenAI Gym», arXiv:1606.01540, 2016.

А.С. Голубев, О.В. Литвинов, А.В. Бахшиев, И.А. Васильев
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ С
ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ
ГИПЕРИЗБЫТОЧНЫМ НЕОБИТАЕМЫМ ПОДВОДНЫМ
АППАРАТОМ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
alexab@rtc.ru*

Несмотря на огромные достижения в области автоматизации, до сих пор существуют сферы человеческой деятельности, автоматизация которых либо крайне неэффективна, либо вообще не представляется возможной, когда, казалось бы, весьма несложные операции (с которыми легко справляется любой малоквалифицированный персонал) вообще не поддаются автоматизации. Заполнить многие из таких «свободных от автоматизации ниш» могли бы высокоадаптивные и автономные мобильные роботы.

«Интеллектуализация» мобильных роботов является важнейшим направлением развития мобильной робототехники. Под этим термином здесь понимается повышение уровня адаптивности робота к сложным быстроизменяющимся внешним условиям или повышение степени независимости (автономности) процесса функционирования робота от человека-оператора. С увеличением степени автономности упрощается процесс управления роботом, уменьшается отрицательное влияние человеческого фактора, возрастает общая эффективность от применения мобильного робота. Основные трудности при этом состоят в создании алгоритмического обеспечения, позволяющего автоматически управлять движением роботов.

В работе рассмотрены различные подходы к синтезу алгоритмов управления мобильными роботами [1, 2, 3], проведено сравнение алгоритмов глубокого обучения с подкреплением [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. На основании сравнения и изучения алгоритмов сделано заключение о возможных применении алгоритмов глубокого обучения с подкреплением для управления автономным обитаемым подводным

аппаратом, а также описана методика реализации модели АНПА в физическом симуляторе Gym [11].

1. L.Silva, A.Silva An Evolutionary Algorithm for Autonomous Robot Navigation // The International Conference on Computational Science. – 2013.
2. Л.Заде Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений Издательство: Мир, – 166 с, – 1996.
3. C.Florensa, D.Held Automatic Goal Generation for Reinforcement Learning Agents // arXiv:1705.06366. – 2018.
4. T.P. Lillicrap Continuous control with deep reinforcement learning et al // arxiv 1509.02971
5. J.Schulman, F.Wolski, P.Dhariwal, A.Radford, O.Klimov Proximal Policy Optimization Algorithms // arXiv:1707.06347v2. – 2017.
6. J.Schulman, S.Levine Trust Region Policy Optimization // arXiv:1502.05477v5. – 2017.
7. D.P.Kroese Cross-Entropy Method // arXiv:1503.01842v1. – 2015.
8. V. Mnih Human-Level Control through Deep Reinforcement Learning // journal Nature, 2015.
9. Z.Wang T.Schaul Reinforcement Learning : An Introduction // arxiv.org:1511.06581. – 2016.
10. R.Sutton, A.Barto Dueling Network Architectures for Deep Reinforcement Learning // The MIT Press. – 2017.
11. G.Brockman, V.Cheung «OpenAI Gym», arXiv:1606.01540, 2016.

S.A. Polovko, V.V. Tselujko, A.V. Popov, D.N. Stepanov
**A COMPUTER VISION SYSTEM FOR DETERMINATION
OF AUV POSITION IN THE PROBLEM
OF COOPERATIVE DOCKING**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
dnstepanov@rtc.ru*

Determining the relative position of underwater vehicles (AUV) is an important task when approaching or maneuvering at close distances [1], for example, when performing docking operations. In recent years, there has been developed several systems to solve this problem [2].

At long distances sonar systems are usually used to determine the relative position of underwater vehicles. However, they are not precise enough to provide the accuracy required to perform contact operations or to position the AUV relative to the docking frame.

At the final stages of docking the use of optical systems providing high accuracy and continuity of measurements is recognized as the most efficient. The main limiting factor in the use of such systems is the range limited by the visibility distance in the water. We can distinguish approaches based on the observation of active light markers, passive patterns, as well as systems working on arbitrary objects. Among these approaches, the use of active light markers considered in the article is the most efficient, since it provides the maximum range and reliability of measurements, and is the least expensive in terms of computing resources.

The proposed vision system (CVS) for determining the parameters of the AUV position during docking consists of a landmarks system located in the docking module, two TV cameras of the AUV directed downwards (to the docking module), an on-board computer and a special software.

The landmark system consists of 4 light emitting landmarks: two main ones with masks forming 4 points on each landmark, and two additional without masks. TV cameras provide images of markers, and on-board computer uses the special software for joint analysis of images from both cameras.

Depending on the distance, each camera can observe from 1 to 4 landmarks, or not observe any (due to the loss of contrast, or the exit of the landmark from the field of view of the AUV). Taking into account different situations, the following methods are developed to determine the position of the AUV relative to the docking module:

- 1) A method of determining the relative position using two points on the television frame and the known angles of the roll and trim.
- 2) A method of determining the relative position of a set of points on a television frame.

The first method is applicable in the case where at least two points of light landmarks are observed, and the angles of the relative roll and the trim of the AUV and the docking module can be obtained. If there are four points (four separate landmarks or four points of one landmark), the second method allows to solve the problem of determining the relative position without using additional information about the roll and the trim. This approach is based on the solution of PnP problem, for example, by methods [3,4].

When the approach is performed, the AUV enters the search mode for light landmarks from the images from both cameras. When establishing visual contact, the AUV gradually descends into the docking module, holding the landmarks in the center of the field of view. In most practical cases, only auxiliary landmarks without masks are initially visible. Their use requires the use of method 1. When the landmarks become visible with masks, there is a transition to method 2.

The studies have shown the applicability of both methods for the practical implementation of the positioning of the AUV, but with known relative roll and trim method 1 allows for less error in determining the position.

The developed computer vision system showed practical applicability in the course of marine field tests.

1. Bakhshiev, A.V. and others. Proposals development for the design and technical implementation of the determining parameters relative motion system based by video processing. - Technical report. - / RTC. – Saint-Petersburg, 2010. - P. 143.
2. Podder, Tarun & Sibenac, Mark & Bellingham, James. (2019). Applications and Challenges of AUV Docking Systems Deployed for Long-term Science Missions.
3. Fischler M., Bolles R. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography // Communications of the ACM. –1981. – Vol. 24(6). – P. 381-395.
4. Moreno-Noguer F., Lepetit Y., Fua P. Accurate noniterative o(n) solution to the pnp problem // Proceeding of the IEEE International Conference on Computer Vision / Rio de Janeiro, Brazil, October, 2007. – Rio de Janeiro, 2007.

*С.А. Половко, В.В. Целуйко,
А.В. Попов, Д.Н. Степанов*

**СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОЖЕНИЯ
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ В ЗАДАЧЕ
КООПЕРИРУЕМОЙ СТЫКОВКИ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
dnstepanov@rtc.ru*

Определение взаимного положения подводных аппаратов (ПА) является важной задачей при их сближении или маневрировании на близких дистанциях [1], например, при выполнении операции стыковки. За последние годы в мире было разработано несколько систем для решения этой задачи [2].

На больших дистанциях для определения взаимного положения подводных аппаратов обычно используются гидроакустические системы. Однако вблизи они не способны обеспечить точность, необходимую для выполнения контактных операций или позиционирования ПА относительно стыковочной рамы или дока.

На финальных стадиях стыковки наиболее эффективным признано применение оптических систем, обеспечивающих высокую точность и непрерывность измерений. Основным ограничивающим фактором применения таких систем является работа только в пределах дальности видимости в воде. Можно выделить подходы, основанные на наблюдении активных световых маркеров, пассивных шаблонов, а также системы, работающие по произвольным объектам. Среди этих подходов применение рассматриваемых в статье активных световых маркеров является наиболее эффективным, поскольку обеспечивает максимальную дальность и надежность измерений, а также является наименее затратным с точки зрения вычислительных ресурсов.

Предложенная система технического зрения (СТЗ) для определения параметров положения ПА в ходе стыковки состоит из маркерной системы, располагаемой в стыковочном модуле, двух телевизионных камер ПА, направленных вниз (на стыковочный модуль), бортового вычислителя СТЗ и специального программного обеспечения.

Маркерная система состоит из 4 световых маркеров: двух основных с масками, формирующими 4 точки на каждом маркере, и двух дополнительных без масок. Телевизионные камеры ПА

обеспечивают получение изображений маркеров, а бортовой вычислитель СТЗ с использованием специального программного обеспечения – совместный анализ изображений от обеих камер.

В зависимости от дистанции каждая камера может наблюдать от 1 до 4 маркеров, либо не наблюдать вовсе (из-за потери контраста, либо выхода маркера из поля зрения ПА). С учетом различных ситуаций, для определения положения ПА относительно стыковочного модуля разработаны следующие методы:

- 1) Метод определения взаимного положения по двум точкам на телевизионном кадре и известным углам крена и дифферента.
- 2) Метод определения взаимного положения по набору точек на телевизионном кадре.

Первый метод применим в случае, когда наблюдаются по крайней мере две точки световых маркеров, и при этом могут быть получены углы относительного крена и дифферента ПА и стыковочного модуля. В случае, если наблюдаются четыре точки (четыре отдельных маркера или четыре точки одного маркера), второй метод позволяет решить задачу определения взаимного положения без использования дополнительной информации о крене и дифференте. Этот подход основан на решении PnP-задачи, например, методами [3,4].

При выполнении сближения ПА переходит в режим поиска световых маркеров по изображениям от обеих телекамер. При установлении визуального контакта ПА постепенно опускается в стыковочный модуль, удерживая маркеры в центре поля зрения. В большинстве практических случаев исходно видны только вспомогательные маркеры без масок. Их использование требует использования метода 1. Когда становятся видны маркеры с масками, происходит переход на метод 2.

Проведенные исследования показали применимость обоих методов для практического выполнения позиционирования ПА, однако при известных относительных крене и дифференте метод 1 позволяет обеспечить меньшую погрешность определения положения.

Разработанная система технического зрения показала практическую применимость в ходе морских полигонных испытаний.

1. Bakhshiev, A.V. and others. Proposals development for the design and technical implementation of the determining parameters relative motion system based by video processing. - Technical report. - / RTC. – Saint-Petersburg, 2010. - P. 143.

2. Podder, Tarun & Sibenac, Mark & Bellingham, James. (2019). Applications and Challenges of AUV Docking Systems Deployed for Long-term Science Missions.
3. Fischler M., Bolles R. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography // Communications of the ACM. –1981. – Vol. 24(6). – P. 381-395.
4. Moreno-Noguer F., Lepetit Y., Fua P. Accurate noniterative $o(n)$ solution to the pnp problem // Proceeding of the IEEE International Conference on Computer Vision / Rio de Janeiro, Brazil, October, 2007. – Rio de Janeiro, 2007.

I.A. Vasiliev¹, A.A. Nikiforov²
**MODELING OF THE UNDERWATER APPARATUS
WITH A VARIABLE THRUST VECTOR,
EQUIPPED WITH BALLAST TANKS**

¹ *Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint-Petersburg, vas@rtc.ru*

² *Peter the Great SPbPU, Saint Petersburg, pilrause@gmail.com*

Over the past few decades has been steadily growing interest in the use of unmanned robots for underwater operations. Currently, throughout the world, two kinematic schemes of AUV are used. The first is the already established classic scheme of underwater robots: the propeller screw and thrusters. Vertical thrusters are used to control the ascent and the dive, and horizontal thrusters are used for maneuvering along the course. This scheme has serious disadvantages [1].

The second scheme is the use of pivoting thrusters. This scheme is used mainly for vehicles that do not need to move over considerable distances, and only need to maneuver almost in place.

In this work, an apparatus with a single propeller screw (marching propulsion — MP), which has a variable thrust vector, is considered and modeled, that is, it can be rotated around a vertical axis to create a moment along the course of the apparatus. To control the AUV on the trim and roll, the apparatus is equipped with four ballast tanks (BT): in the nose to the left and right of the longitudinal axis and, respectively, in the stern, also to the left and right of the axis of the device (fig. 1).

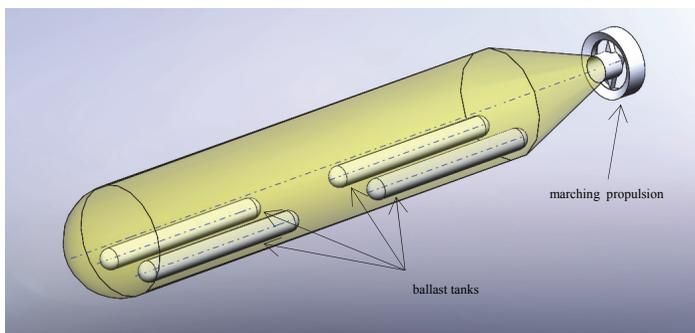


Figure 1 – Kinematic diagram of the AUV

Mathematical-computer model [2] of the AUV is made in the Wolfram Mathematica system.

Modeling such a device shows:

- 1) Convenience of ballasting and balancing. These two parameters can be changed here during the execution of the AUV work, to

compensate for disturbances caused by exposure from the external environment;

- 2) Reliability of retention of the required depth, which is a significant problem for devices of other kinematic schemes;
- 3) Easy trim control. To perform depth retention for classic AUVs, in the case of non-zero buoyancy, a non-zero trim is required, since thrusters are not applicable at cruising speeds [1]. This may be unacceptable for some technological operations. Here, the depth and trim control channels are untied;
- 4) Ease of roll control. To compensate for the roll moment developed by the marching propulsion, it is necessary to make some (in advance precisely calculated!) imbalance in BT along the right and left sides;
- 5) High maneuverability at the course, since the change in the thrust vector of the MP directly determines the circulation radius of the AUV.

Of course, there are some disadvantages of this scheme:

- 1) There is no possibility to make the lag movement. Here the question immediately arises: how often are the movements “sideways” necessary?
- 2) AUV cannot turn around "on the spot".

Both of these minuses can be removed if the front and rear horizontal thrusters are added to the AUV scheme, the inclusion of which will only be episodic to perform lag movements and turns “on the spot”.

In general, the work showed perspective of such studies. The authors hope to continue further research and, if possible, continue them on the current AUV model.

1. I.A. Vasilyev, D.A. Vokhmintsev, Origin of motion resistance forces for underwater robots and other sea-based objects during maneuvering devices operation. Robotics and technical cybernetics, №1 – 2017.
2. Fossen T.I. Guidance and Control of Ocean Vehicles. – New York: Wiley, 1994.

И.А. Васильев¹, А.А. Никифоров²
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВОДНОГО АППАРАТА С
ПЕРЕМЕННЫМ ВЕКТОРОМ УПОРА, СНАБЖЁННОГО
БАЛЛАСТНЫМИ ЦИСТЕРНАМИ**

¹ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, vas@rtc.ru

²СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург, pilrause@gmail.com

За последние несколько десятилетий неуклонно растёт интерес к использованию беспилотных роботов для проведения подводных работ. В настоящее время во всём мире применяются АНПА двух кинематических схем. Первая – это, уже ставшая классической, схема подводных роботов: гребной винт и подруливающие устройства (ПУ). Для регулирования всплытия и погружения используются вертикальные подруливающие устройства, а для маневрирования по курсу – горизонтальные ПУ. Такая схема имеет заметные сложности [1].

Вторая – это использование поворотных ПУ без маршевого движителя и цистерн. Такая схема применяется, в основном, для аппаратов, которым не требуется перемещаться на значительные расстояния, а надо лишь маневрировать практически на месте.

В данной работе рассматривается и моделируется аппарат, имеющий один гребной винт (маршевый движитель - МД), который имеет переменный вектор упора, то есть может поворачиваться вокруг вертикальной оси для создания момента по курсу аппарата. Для управления АНПА по дифференту и крену аппарат снабжён четырьмя балластными цистернами (БЦ): в носу слева и справа от продольной оси и, соответственно, в корме, также слева и справа от оси аппарата (см. рис. 1).

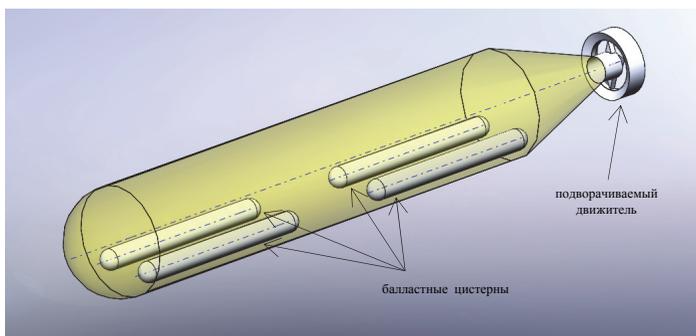


Рисунок 1 – Кинематическая схема АНПА

Математико-компьютерная модель [2] АНПА выполнена в системе Wolfram Mathematica.

Моделирование такого аппарата показало:

- 1) Удобство балластировки и балансировки. Эти два параметра здесь можно изменять во время выполнения работы АНПА, для компенсации возмущений, вызванных воздействием с внешней среды;
- 2) Надёжность удержания требуемой глубины, что является значительной проблемой для аппаратов других кинематических схем;
- 3) Простоту управления дифферентом. Для выполнения удержания глубины для классических АНПА, в случае ненулевой плавучести, требуется удерживать ненулевым и дифферент, так как ПУ на маршевых скоростях неприменимы [1]. Это может быть неприемлемо для проведения некоторых технологических операций. Здесь же каналы управления глубиной и дифферентом развязаны;
- 4) Лёгкость управления креном. Для компенсации момента по крену, развиваемым маршевым двигателем, требуется сделать некоторый (заранее точно рассчитываемый!) дисбаланс в БЦ по правому и левому бортам;
- 5) Высокую манёвренность по курсу, так как изменение вектора упора МД непосредственно определяет радиус циркуляции АНПА.

Разумеется, для данной схемы есть и свои минусы:

- 1) Нет возможности производить лаговое движение. Здесь сразу возникает вопрос: а насколько часто необходимы движения «вбок»?
- 2) АНПА не может развернуться «на месте».

Оба эти минуса можно убрать, если в схему АНПА добавить передние и задние горизонтальные ПУ, включение которых будет лишь эпизодическим для выполнения лаговых движений и поворотов «на месте».

В целом, работа показала перспективность таких исследований. Авторы надеются в дальнейшем продолжить исследования и, при возможности, продолжить их на действующем макете АНПА.

1. И.А. Васильев, Д.А. Вохминцев, С.А. Половко. Возникновение сил сопротивления движению подводных роботов и других объектов морского базирования при работе подруливающих устройств. Робототехника и техническая кибернетика, №1 – 2017.
2. Fossen T.I. Guidance and Control of Ocean Vehicles. – New York: Wiley, 1994.

O.A. Shmakov
HYPER-REDUNDANT UNDERWATER ROBOT

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
shmakov@rtc.ru*

Currently, the volume of ocean resources is growing in the world. This growth is associated with a depletion, a decrease of the production efficiency, and a rise in prices for a number of the most important natural resources on Earth, primarily oil and gas. The government formulate the problem of raising the level of knowledge of the territory of the Russian Federation, its continental shelf and the waters of the internal seas through general geological and special-purpose works by 2020 till 50 %, and by 2030 – till 75%. To this end, large-scale engineering projects are being implemented – bridges, dams, island-like platforms, etc. These objects require regular inspection of the underwater part of the structures and the timely execution of service operations. Thus, there is a clear need to create robotic systems that have a modular design and are able to work in several environments.

A hyper-redundant underwater robot (HRUR) is recognized as a promising solution, which, in comparison with classical unmanned underwater vehicles has a number of advantages in non-deterministic and external-limited space: small transverse size provides the motion in narrows and channels; a hyper-redundant number of degrees of freedom allows one to realize a significantly larger number of locomotion modes, as well as the manipulation of the objects; the modularity of the design makes it possible to accommodate special modules; sealed hull provides amphibious properties that allow for movement on the ground and in the water. At the same time, the poor maneuverability of traditional remote-controlled or autonomous unmanned underwater vehicles significantly limits their functionality in the area of underwater structures. In addition, considerable labor costs are required for their reconfiguration, recharge, etc.

Based on the development of snake-like robots and research works related to the control problems of unmanned underwater vehicles, the design of the new HRUR is presented, which has high maneuverability, reliability, small overall sizes, and the ability to quickly change energy, sensor and executive equipment.

HRUR is designed to perform a wide range of underwater technical, research, monitoring operations on industrial and engineering sea-based facilities, in the waters and on the bottom of the World Ocean, characterized by complex terrain.

The use of HRUR is promising for solving a number of tasks, including: diagnostic, repair, inspection and other underwater technical works at industrial and engineering sea-based objects in areas difficult for traditional submersibles (areas of complex spatial structures, cavities, etc.); a survey of areas of the shelf characterized by difficult terrain, the presence of underwater rocks, caverns, and cracks.

О.А. Шмаков
**ГИПЕРИЗБЫТОЧНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ ДЛЯ
РАБОТЫ В ЖИДКИХ СРЕДАХ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
shmakov@rtc.ru*

В настоящее время в мире растет объем освоения ресурсов океана. Этот рост связан с истощением, снижением эффективности добычи и удорожанием ряда важнейших природных ресурсов на суше, в первую очередь, – нефти и газа. Государство ставит задачу повышения уровня изучения территории РФ, ее континентального шельфа и акваторий внутренних морей посредством проведения работ общегеологического и специального назначения к 2020 г. до 50 %, а к 2030 г. – до 75 %. Для этого реализуются масштабные инженерные проекты – мосты, дамбы, острова-платформы и т.п. Данные объекты требуют регулярного осмотра подводной части конструкций и своевременного выполнения сервисных операций. Таким образом, существует явная необходимость создания робототехнических комплексов, обладающих модульной конструкцией и способных работать в нескольких средах базирования.

Перспективным решением признан гиперизбыточный мобильный робот змеевидного типа (ГМР), который в сравнении с классическими необитаемыми подводными аппаратами, обладает рядом преимуществ в недетерминированном и ограниченном внешними факторами пространстве: малые поперечные размеры способствуют перемещению в узкостях и каналах; гиперизбыточное число степеней подвижности позволяет реализовать существенно большее количество типов локомotionных мод, а также манипулирование объектами; модульность конструкции дает возможность размещения специальных модулей; герметичный корпус обеспечивает амфибийные свойства, что позволяет осуществлять перемещения на суше и в водной среде. При этом плохая маневренность традиционных телеуправляемых или

автономных необитаемых подводных аппаратов существенно ограничивает их функционал в зоне подводных конструкций. Кроме того, значительные трудозатраты требуются на их перенастройку, перезарядку и т.п.

Основываясь на разработках змеевидных роботов и исследовательских работах, связанных с управлением необитаемыми подводными аппаратами, представлен проектный облик нового ГМР, обладающего высокой маневренностью, надежностью, малыми габаритными размерами, возможностью быстрой смены энергетического, сенсорного, исполнительного оборудования.

ГМР предназначен для выполнения широкого спектра подводно-технических, исследовательских, мониторинговых операций на промышленных и инженерных объектах морского базирования, в акваториях и на участках дна Мирового океана, отличающихся сложным рельефом.

Применение ГМР представляется перспективным при решении ряда задач, среди которых: диагностические, ремонтные, инспекционные и другие подводно-технические работы на промышленных и инженерных объектах морского базирования в труднодоступных для традиционных подводных аппаратов зонах (участки сложных пространственных конструкций, полости и т.п.); обследование участков шельфа, характеризующихся сложным рельефом, наличием подводных скал, каверн и трещин.

R.V. Krasilnikov
**ROBOTIC COMPLEX TO RESCUE PEOPLE
WHO FELL OVERBOARD**

BSTU «VOENMEH» n.a. D.F. Ustinov, St. Petersburg
r.v.krasilnikov@mail.ru

Over the past decade, one of the main trends in the development of technology has undoubtedly been the question of creating and improving samples of robotic complexes (RTC). Their capabilities and applications are constantly expanding, hundreds of large companies are working on improving their tactical and technical characteristics. One of the promising areas of application of such complexes, which is beginning to actively develop over the past few years, is the rescue of people in emergency situations. The first case of successful use of an unmanned aerial vehicle (UAV) in a rescue operation was recorded in 2013, and to date, more than 20 such cases have been known [1].

Most of the cases of rescue with the use of RTK is reduced to the detection of people using video cameras or sensors placed on the UAV. However, samples of devices are already being developed and applied, allowing them to be used in order to save people at sea. In particular, samples of UAVs used by Iran, the United States and the United Arab Emirates are known. Also developed and unmanned boats (BEC) for lifting people out of the water, for example, BEC AGaPaS, created by the University of Rostock (Germany).

The disadvantages of these samples are their limited capabilities. First of all, these funds are created for the rescue of those who are drowning in the process of bathing or for cases of falling into the water of the attendants of stationary offshore structures (this applies especially to such a massive apparatus as the BEC). In such cases, the person is usually close to the point of falling into the water (coastline) and the task of salvation is to keep it afloat (reset by the lifejacket's BLAH or vest) and selected using a floating craft (including using BEC).

Separate technical solutions require cases of people falling into the water from a mobile carrier (accidental fall, flushing overboard in stormy conditions, falling on duty, etc.). The problems in this case are the short duration of human contact (the ship is removed due to the stroke), the limited possible time in the water due to hypothermia (especially in the northern regions), loss of visual contact (most typical in dark, agitation).

One of the most suitable types of robotic systems, allowing to ensure the rescue of people who fell overboard, are remote-controlled vehicles, allowing you to get to the person caught in the water, grab it and provide transportation to the board of the vessel. In this case, the wire of the telecontrol of the apparatus is also a load-carrying cable, which is towed.

In BSTU «VOENMEH» n.a. D.F. Ustinov, an initiative preliminary elaboration of a remote-controlled apparatus, which has the following characteristics: apparatus weight – up to 30 kg; body dimensions: diameter 220 mm, length up to 0,8 m; telecontrol cable length – up to 200 m.

1. Life-saving drones [Electronic resource]. URL: <https://www.aerosociety.com/news/life-saving-drones/> (дата обращения 30.03.2019).

Р.В. Красильников
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ, УПАВШИХ ЗА БОРТ**

*БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург
r.v.krasilnikov@mail.ru*

За последнее десятилетие одним из основных трендов развития техники, несомненно, стал вопрос создания и совершенствования образцов робототехнических комплексов (РТК). Их возможности и сферы применения постоянно расширяются, над улучшением их тактико-технических характеристик работают сотни крупных компаний. Одна из перспективных сфер применения таких комплексов, которая начинает активно развиваться за последние несколько лет – спасение людей в аварийных ситуациях. Первый случай успешного применения беспилотного летательного аппарата (БЛА) в спасательной операции зафиксирован в 2013 году, а к настоящему моменту известно уже более 20 таких случаев [1].

Большая часть случаев спасения с применением РТК сводится к обнаружению людей с помощью видеокамер или датчиков, размещаемых на БЛА. Однако, уже разрабатываются и применяются образцы аппаратов, позволяющие применять их в целях спасения людей на море. В частности, известны образцы БЛА, применяемых Ираном, США и ОАЭ. Также разрабатываются и безэкипажные катера (БЭК) для подъема людей из воды, например, БЭК AGaPaS, созданный Ростокским университетом (Германия).

Недостатками приведенных образцов являются их ограниченные возможности. Прежде всего, данные средства создаются для спасения утопающих в процессе купания или для случаев падения в воду обслуживающего персонала стационарных морских сооружений (особенно, это касается такого массивного аппарата, как БЭК). В таких случаях человек, как правило, находится близко от точки падения в воду (береговой черты) и задача спасения сводится к поддержанию его на плаву (сброс с помощью БЛА спасательного круга или жилета) и подбору с помощью плавсредства (в том числе, с применением БЭК).

Отдельных технических решений требуют случаи падения людей в воду с борта подвижного носителя (случайное падение, смыв за борт в штормовых условиях, падение при исполнении служебных обязанностей и т.п.). Проблемами в данном случае являются кратковременность контакта с человеком (корабль удаляется за счет хода), ограниченное возможное время пребывания в воде из-за переохлаждения (особенно это касается северных районов), потеря визуального контакта (наиболее характерно в условиях темноты, волнения).

Одним из наиболее подходящих типов робототехнических комплексов, позволяющих обеспечить спасение упавших за борт людей, являются телеуправляемые аппараты, позволяющие подойти к человеку, оказавшемуся в воде, захватить его и обеспечить транспортировку к борту судна. При этом провод телеуправления аппарата является и грузонесущим кабелем, за который осуществляется буксировка.

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова выполнена инициативная предварительная проработка телеуправляемого аппарата, обладающего следующими характеристиками: масса аппарата – до 30 кг; габариты корпуса: диаметр 220 мм, длина до 0,8 м; длина кабеля телеуправления – до 200 м.

1. Life-saving drones [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aerosociety.com/news/life-saving-drones/> (дата обращения 30.03.2019).

V.P. Noskov, I.O. Kiselev

**A USING THE TEXTURE OF LINEAR OBJECTS, WHICH ARE
FORMED WITH HELP DATA FROM THE COMPLEXLY STV,
FOR THE SOLUTION OF THE SLAM-TASK**

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow
noskov_mstu@mail.ru, kiselev201@rambler.ru*

In the paper the actual problems of 3D-reconstruction of the model of the industrial-urban environment and navigation, solved by combining the textures of the identified and identifiable linear objects according to the onboard integrated System of Technical Vision (STV) in the process of movement, are considered. An integrated STV consists of 3D laser sensor and a video camera with a common field of view, which are mutually aligned [1]. An analysis of the features was carried out and algorithms for solving the navigation problem were proposed depending on the number of allocated and identifiable textured linear objects in the current video distance-ranging images. The results of experimental studies of relevant software and hardware in a real environment are given.

As is known, in order to solve a complete navigation task (determination of 3 linear and 3 angular coordinates of the control object), it is necessary to isolate and identify at least 3 mutually non-parallel flat objects [2–4] in the process of movement. In this work, Algorithms are proposed for solving the navigation problem when selecting and identifying in the process of movement less than 3 flat objects: one textured flat object or two flat objects that are not parallel to each other. It is shown that in the first case, the use of texture makes it possible to reduce the solution of the navigation problem to a three-dimensional optimization problem, and in the second case to a one-dimensional one. The proposed algorithms are based on the operations of superposition the flat objects corresponding to each other, selected in the previous and new video-ranging images, to the same plane and the best combination of their textures, visible from the previous and new sensor positions.

In fig. 1 a) in the coordinate system of the sensor, flat objects P_1 and p_1 corresponding to each other, selected in the previous and new positions are shown. In fig. 1 b) these planar objects P_1 and p_1 are shown, reduced to the same plane (here p_1 is combined to P_1) with a combination of their textures. The superposition of textures occurs when the global minimum of the texture difference functional are found:

$$\Delta E(\mu, \eta, \lambda) = \frac{\sum_i \sum_j (e_{ij} - E_{mn})^2 * c_{ij}(\mu, \eta, \lambda)}{\sum_i \sum_j c_{ij}(\mu, \eta, \lambda)}, \quad (1)$$

where μ , η and λ are, respectively, two linear displacements and the rotation of a flat object p_1 relative to P_1 in the plane of reduction;

e_{ij} – brightness of pixel in the texture of the p_1 plane;

E_{mn} is the brightness of the corresponding pixel from the texture of the P_1 plane, whose indices are calculated by the formula (2);

$c_{ij}(\mu, \eta, \lambda) \in \{0,1\}$ – is a number taking the value 1, if for the pixel e_{ij} there exists a pixel E_{mn} , and taking the value 0 otherwise.

$$\begin{vmatrix} m * v \\ n * v \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mu \\ \eta \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \cos(\lambda) & \sin(\lambda) \\ -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} i * v \\ j * v \end{vmatrix}, \quad (2)$$

where v is the linear pixel size.

In fig. 1. c) one-dimensional sections of the functional (1) are given at the solution point $\langle \mu_0, \eta_0, \lambda_0 \rangle$ for the considered example. The values found $\langle \mu_0, \eta_0, \lambda_0 \rangle$ uniquely determine the displacement of the sensor (Fig. 1 b).

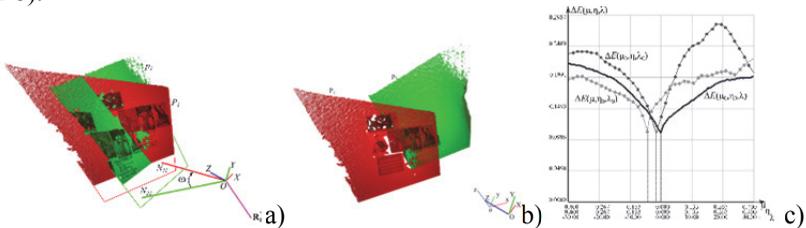


Figure 1 – The result of the software and hardware

When selecting two flat objects, the functional (1) depends only on μ - coordinates associated with the intersection line of these flat objects, and in formula (2) $\eta = \lambda = 0$, $n = j$.

1. Noskov V.P., Rubtsov I.V., Romanov A.Yu. Formirovanie ob"edinennoy modeli vneshney sredy na osnove informacii videokamery i dal'nomera (Formation of a unified model of the environment based on the information of the video camera and range finder), Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie, Moscow, Novye tekhnologii, 2007, no. 8, pp. 2–5 (in Russian)
2. Kaz'min V.N., Noskov V.P. Vydelenie geometricheskikh i semanticheskikh ob"ektov v dal'nometricheskikh izobrazheniyah dlya navigacii robotov i rekonstrukcii vneshney sredy (Selection of geometric and semantic objects in ranging images for robot navigation and reconstruction of the external environment), Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki, Taganrog, Izdatel'stvo Tekhnologicheskogo Instituta Yuzhnogo federal'nogo universiteta, no. 10 (171), pp. 71–83 (in Russian)

3. Noskov V.P., Kiselev I.O. Vydelenie ploskih ob"ektov v lineyno strukturirovannyh 3D-izobrazheniyah (Selecting flat objects in linearly structured 3D images), Saint Petersburg, Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika, no. 2(19), 2018, pp. 31–38 (in Russian)
4. Noskov V.P., Kiselev I.O. Trekhmernyy variant metoda Hafa v rekonstrukcii vneshney sredy i navigacii (Three-Dimensional Version of the Hough Method in the Reconstruction of the External Environment and Navigation), Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie, Moscow, Novye tekhnologii, 2018, no. 8, pp. 552–560 (in Russian)

В.П. Носков, И.О. Киселев
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕКСТУРЫ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ,
ФОРМИРУЕМЫХ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ
СТЗ, В РЕШЕНИИ SLAM-ЗАДАЧИ**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
noskov_mstu@mail.ru, kiselev201@rambler.ru

Рассмотрены актуальные задачи 3D-реконструкции модели индустриально-городской среды и навигации, решаемые путем совмещения текстур выделяемых и идентифицируемых линейных объектов по данным бортовой комплексированной СТЗ в процессе движения. Комплексированная СТЗ в рассматриваемом случае состоит из взаимно-юстированных 3D-лазерного сенсора и видеокамеры с общей зоной обзора [1]. Проведен анализ особенностей и предложены алгоритмы решения навигационной задачи в зависимости от количества выделяемых и идентифицируемых текстурированных линейных объектов в текущих видео-дальнометрических изображениях. Приведены результаты экспериментальных исследований соответствующих программно-аппаратных средств в реальной среде.

Как известно, для решения полной навигационной задачи (определение 3-х линейных и 3-х угловых координат объекта управления) необходимо в процессе движения выделять и идентифицировать не менее 3-х взаимно не параллельных плоских объектов [2-4]. В настоящей работе предложены алгоритмы решения навигационной задачи при выделении и идентификации в процессе движения менее 3-х плоских объектов: одного текстурированного плоского объекта или двух текстурированных не параллельных друг другу плоских объектов. Показано, что в первом случае использование текстуры позволяет свести решение навигационной задачи к

трехмерной задаче оптимизации, а во втором – к одномерной. В основу предлагаемых алгоритмов положены операции приведения соответствующих друг другу плоских объектов, выделенных в предыдущем и новом видео-дальнометрических изображениях, к одной плоскости и наилучшего совмещения их текстур, видимых из предыдущего и нового положения сенсора.

На рис. 1 а) в системе координат сенсора показаны соответствующие друг другу плоские объекты P_I и p_I , выделенные в предыдущем и новом положениях. На рис. 1 б) показаны эти плоские объекты P_I и p_I , приведенные к одной плоскости (здесь p_I приведена к P_I) с совмещением их текстур. Совмещение текстур происходит при глобальном минимуме функционала разности текстур:

$$\Delta E(\mu, \eta, \lambda) = \frac{\sum_i \sum_j (e_{ij} - E_{mn})^2 * c_{ij}(\mu, \eta, \lambda)}{\sum_i \sum_j c_{ij}(\mu, \eta, \lambda)}, \quad (1)$$

где μ , η и λ – соответственно два линейных смещения и вращение плоского объекта p_I относительно P_I в плоскости приведения;

e_{ij} – яркость пиксела из текстуры плоскости p_I ;

E_{mn} – яркость соответствующего пиксела из текстуры плоскости P_I , индексы которого вычисляются по формуле (2);

$c_{ij}(\mu, \eta, \lambda) \in \{0,1\}$ – число, принимающее значение 1, если для пиксела e_{ij} существует пиксел E_{mn} , и принимающее значение 0 в противном случае.

$$\begin{vmatrix} m * v \\ n * v \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mu \\ \eta \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \cos(\lambda) & \sin(\lambda) \\ -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} i * v \\ j * v \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где v – линейный размер пиксела.

На рис. 1. в) приведены одномерные сечения функционала (1) в точке решения $\langle \mu_0, \eta_0, \lambda_0 \rangle$ для рассматриваемого примера. Найденные значения $\langle \mu_0, \eta_0, \lambda_0 \rangle$ однозначно определяют перемещение сенсора (рис. 1 б).

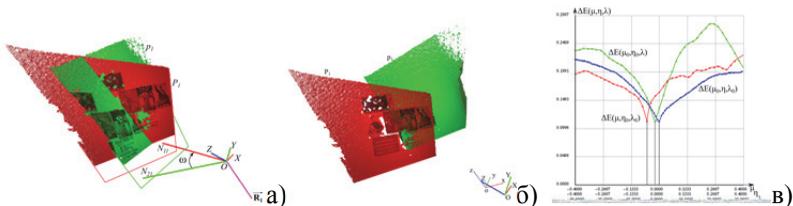


Рисунок 1 – Результат работы программно-аппаратных средств

При выделении 2-х плоских объектов функционал (1) зависит только от μ – координаты, связанной с линией пересечения этих плоских объектов, а в формуле (2) $\eta=\lambda=0$, $n=j$.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-29-04178 офи_м.

1. Носков А.В., Рубцов И.В., Романов А.Ю. Формирование объединенной модели внешней среды на основе информации видеокамеры и дальномера. // М.: «Новые технологии», «Мехатроника, автоматизация, управление» №8, 2007. с. 2-5.
2. Казьмин В.Н., Носков В.П. Выделение геометрических и семантических объектов в дальнометрических изображениях для навигации роботов и реконструкции внешней среды // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – №10 (171). – С. 71-83.
3. Носков В.П., Киселёв И.О. Выделение плоских объектов в линейно-структурированных 3D-изображениях // Робототехника и техническая кибернетика. – 2018. - №2 (19). – С. 31-38.
4. Носков В.П., Киселёв И.О. Трёхмерный вариант метода Хафа в реконструкции внешней среды и навигации // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2018. – №8 (19) – С. 552-560.

E. Lyapustin
**IDENTIFICATION OF UNCLEANNED AIRCRAFT ON
SOUND PRINTING FOR DETECTION, RECOGNITION
AND DETERMINATION OF THE POSITION FOR
PREVENTION OF COLLISIONS IN AIRSPACE**

*Infosystems Jet , Moscow
es.lyapustin@mail.ru*

Abstract

The article proposes a method for solving the problem of sound recognition, produced by the motor and blades of the UAV, as well as the detection of its location, to adjust the trajectory of motion in order to avoid a collision. The methods of analysis and the system of coefficients of the audio stream are considered. Algorithms for preliminary signal processing and selection of criteria are given.

Introduction

Unmanned aerial vehicles (UAV) is a rapidly developing technology that is currently widely used in the private, commercial and public sectors. However, there are no safety measures that facilitate the safe operation of these devices in populated uncontrolled airspace without potential danger to other manned or unmanned aerial vehicles. Conventional collision avoidance systems are only required for passenger aircraft weighing more than 5,700 kg and must be present on both in order to be operational [1].

To accomplish the task, it is necessary to create an individual system on each UAV to facilitate the detection and acceleration of the reaction rate, which will help save another approaching UAV. It is believed that acoustic sounding can be used to achieve this goal

The most common form involves the use of sensors, known as microphones, that detect pressure fluctuations of sound waves generated during UAV piloting. Acoustic sensing has many potential advantages over more traditional non-cooperative technologies such as electro-optical (EO), infrared (IR) and radar. Since the sensors are typically one-way, can be achieved in a full spherical coverage of the sensors. This is a very important feature because most air collisions occur from behind, from the side, above or below; locations that are usually out of sight for most other sensing technologies [2]. Sensor systems are usually very small and light, as they consist of several microphones and a recording/data processing unit. Requirements for the collection and processing of data is also much less than for EO or IR due to the decrease in data transfer speed from sensors. With the simultaneous use of multiple spatially spaced microphones in the array configuration, it is possible to detect, locate and track a sound source such as an aircraft [3-8]. In some cases, analysis of the Doppler frequency

shift of the source signal over a period of time can also determine the speed and direction of the sound source [9-13].

To implement the UAV collision avoidance system, it is necessary to solve the following tasks:

1. To identify the sound of the blades and the engine blah BLAH from other parasitic noises of the environment.
2. Determine the location relative to another UAV.
3. Perform a collision avoidance maneuver

Summary

It is possible to detect and identify UAVS to prevent collisions. Acoustic sensing can be a viable technology for creating an Autonomous collision avoidance system. However, the results regarding the system's ability to localize and track detected targets still need to be worked out to reduce the number of false positives. You can also use multiple arrays to further extend the identity system. For example, the modernization of the array of microphones electro-optical (EO), infrared and radar detection systems. Also, since the direction of the motor noise remains constant with respect to the array of microphones, this information can be used to further improve the localization characteristics of the source, by suppressing the noise of its own blades and motors is an interesting topic for future research.

1. Geyer, C.; Singh, S.; Chamberlain, L. Avoiding Collisions between Aircraft: State of the Art and Requirements for UAVs Operating in Civilian Airspace; Technique Reports; CMU-RI-TR-08-03; Robotics Institute, Carnegie Mellon University: Pittsburgh, PA, USA, 2008.
2. Finn, A.; Franklin, S. Acoustic sense & avoid for UAV's. In Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), Adelaide, Australia, 6–9 December 2011.
3. Zelnio, A.M.; Case, E.E.; Rigling, B.D. A low-cost acoustic array for detecting and tracking small RC aircraft. In Proceedings of the 2009 IEEE 13th Digital Signal Processing Workshop and 5th IEEE Signal Processing Education Workshop, Marco Island, FL, USA, 4–7 January 2009.
4. Case, E.E.; Zelnio, A.M.; Rigling, B.D. Low-cost acoustic array for small UAV detection and tracking. In Proceedings of the 2008 IEEE National Aerospace and Electronics Conference, Dayton, OH, USA, 16–18 July 2008.
5. Zelnio, A.M. Detection of Small Aircraft Using an Acoustic Array; Wright State University: Fairborn, OH, USA, 2009.
6. Sutin, A.; Salloum, H.; Sedunov, A.; Sedunov, N. Acoustic detection, tracking and classification of low flying aircraft. In Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security (HST), Waltham, MA, USA, 12–14 November 2013.

7. Salloum, H.; Sedunov, A.; Sedunov, N.; Sutin, A.; Masters, D. Acoustic system for low flying aircraft detection. In Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST), Waltham, MA, USA, 14–16 April 2015.
8. Nielsen, R.O. Acoustic detection of low flying aircraft. In Proceedings of the IEEE Conference on Technologies for Homeland Security, Boston, MA, USA, 11–12 May 2009.
9. Ferguson, B.G. A ground-based narrow-band passive acoustic technique for estimating the altitude and speed of a propeller-driven aircraft. *J. Acoust. Soc. Am.* 1992, 92, 1403–1407. [CrossRef]
10. Sadasivan, S.; Gurubasavaraj, M.; Sekar, S. Acoustic signature of an unmanned air vehicle exploitation for aircraft localisation and parameter estimation. *Def. Sci. J.* 2002, 51, 279. [CrossRef]
11. Tong, J.; Xie, W.; Hu, Y.; Bao, M.; Li, X.; He, W. Estimation of low-altitude moving target trajectory using single acoustic array. *J. Acoust. Soc. Am.* 2016, 139, 1848–1858. [CrossRef] [PubMed]
12. Ferguson, B.G.; Lo, K.W. Turbo-prop and rotary-wing aircraft flight parameter estimation using both narrow-band and broadband passive acoustic signal processing methods. *J. Acoust. Soc. Am.* 2000, 108, 1763–1771. [CrossRef] [PubMed]
13. Reiff, C.; Pham, T.; Scanlon, M.; Noble, J.; Landuyt, A.V.; Petek, J.; Ratches, J. Acoustic Detection from an Aerial Balloon Platform; US Army Research Laboratory: Adelphi, MD, USA, 2004. [13] P. Misra, A. A. Kumar, P. Mohapatra, and P. Balamuralidhar, “Aerial drones with location-sensitive ears,” *IEEE Communications Mag.* vol. 56, no. 7, pp. 154-160, Jul. 2018.

Е.С. Ляпустин

ИДЕНТИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ЗВУКОВОМУ ОТПЕЧАТКУ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЗНАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

*АО «Инфосистемы Джет», Москва
es.lyapustin@mail.ru*

Аннотация

В статье предложен метод решения проблемы распознавания звука, издаваемый мотором и лопастями БЛА, а также обнаружения его местоположения, для корректировки траектории движения, чтобы избежать столкновение. Рассматриваются методики анализа и системы коэффициентов звукового потока. Приведены алгоритмы предварительной обработки сигнала и выделения критериев.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) - это быстроразвивающаяся технология, которая в настоящее время широко применяется в частном, коммерческом и государственном секторах. Однако, не существует никаких мер безопасности, способствующих безопасной эксплуатации этих устройств в заселенном неконтролируемом воздушном пространстве без потенциальной опасности для других пилотируемых или беспилотных летательных аппаратов. Обычные системы предотвращения столкновений требуются только для пассажирских воздушных судов весом более 5700 кг и должны присутствовать на обоих для обеспечения возможности эксплуатации [1].

Для решения поставленной задачи необходимо создать индивидуальную систему на каждом БЛА для облегчения обнаружения и ускорения скорости реакции, что поможет спасению другого приближающегося БЛА. Считается, что акустическое зондирование может использоваться для достижения этой цели.

Наиболее распространенная форма включает использование датчиков, известных как микрофоны, которые обнаруживают колебания давления звуковых волн, создаваемые во время пилотирования БЛА. Акустическое зондирование имеет много потенциальных преимуществ по сравнению с более традиционными некооперативными технологиями, такими как электрооптические (ЕО), инфракрасные (ИР) и радарные. Поскольку датчики обычно являются однонаправленными, может быть достигнут полный сферический охват датчиков. Это очень важная особенность, поскольку большая часть столкновений в воздухе происходит сзади, сбоку, сверху или

снизу; места, которые обычно выходят за пределы поля зрения для большинства других технологий зондирования [2]. Сенсорные системы, как правило, очень маленькие и легкие, так как состоят из нескольких микрофонов и блока записи/обработки данных. Требования к сбору и обработке данных также намного меньше, чем для EO или IR из-за снижения скорости передачи данных с датчиков. При одновременном использовании нескольких пространственно-разнесенных микрофонов в конфигурации массива можно добиться обнаружения, локализации и отслеживания источника звука, такого как летательный аппарат [3–8]. В некоторых случаях анализ доплеровского сдвига частоты сигнала источника в течение определенного периода времени может также позволить определить скорость и направление источника звука [9–13].

Для реализации системы уклонения столкновения БЛА необходимо решить следующие задачи:

1. Идентифицировать звук, издаваемый лопастями и двигателем БЛА от других паразитирующих шумов окружающей среды.
2. Определить местоположение относительно другого БЛА.
3. Совершить маневр уклонения от столкновения.

Выводы

Обнаружить и идентифицировать БЛА для предотвращения столкновений возможно. Акустическое зондирование может быть жизнеспособная технология для создания автономной системы предотвращения столкновений. Тем не менее, результаты в отношении способности системы локализовать и отслеживать обнаруженные цели по-прежнему требует проработки, для уменьшения числа ложных срабатываний. Кроме того, можно использовать несколько массивов для дальнейшего расширения системы идентификации. Например, модернизация массива микрофонов электрооптическим (EO), инфракрасными и радарными системами обнаружения. Также, поскольку направление шума двигателя остается неизменным по отношению к массиву микрофонов, то можно использовать эту информацию для дальнейшего улучшения характеристик локализации источника, путем подавления шума собственных лопастей и двигателей является интересной темой будущих исследований.

1. Geyer, C.; Singh, S.; Chamberlain, L. Avoiding Collisions between Aircraft: State of the Art and Requirements for UAVs Operating in Civilian Airspace; Technique Reports; CMU-RI-TR-08-03; Robotics Institute, Carnegie Mellon University: Pittsburgh, PA, USA, 2008.
2. Finn, A.; Franklin, S. Acoustic sense & avoid for UAV's. In Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), Adelaide, Australia, 6–9 December 2011.

3. Zelnio, A.M.; Case, E.E.; Rigling, B.D. A low-cost acoustic array for detecting and tracking small RC aircraft. In Proceedings of the 2009 IEEE 13th Digital Signal Processing Workshop and 5th IEEE Signal Processing Education Workshop, Marco Island, FL, USA, 4–7 January 2009.
4. Case, E.E.; Zelnio, A.M.; Rigling, B.D. Low-cost acoustic array for small UAV detection and tracking. In Proceedings of the 2008 IEEE National Aerospace and Electronics Conference, Dayton, OH, USA, 16–18 July 2008.
5. Zelnio, A.M. Detection of Small Aircraft Using an Acoustic Array; Wright State University: Fairborn, OH, USA, 2009.
6. Sutin, A.; Salloum, H.; Sedunov, A.; Sedunov, N. Acoustic detection, tracking and classification of low flying aircraft. In Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security (HST), Waltham, MA, USA, 12–14 November 2013.
7. Salloum, H.; Sedunov, A.; Sedunov, N.; Sutin, A.; Masters, D. Acoustic system for low flying aircraft detection. In Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST), Waltham, MA, USA, 14–16 April 2015.
8. Nielsen, R.O. Acoustic detection of low flying aircraft. In Proceedings of the IEEE Conference on Technologies for Homeland Security, Boston, MA, USA, 11–12 May 2009.
9. Ferguson, B.G. A ground-based narrow-band passive acoustic technique for estimating the altitude and speed of a propeller-driven aircraft. *J. Acoust. Soc. Am.* 1992, 92, 1403–1407. [CrossRef]
10. Sadasivan, S.; Gurubasavaraj, M.; Sekar, S. Acoustic signature of an unmanned air vehicle exploitation for aircraft localisation and parameter estimation. *Def. Sci. J.* 2002, 51, 279. [CrossRef]
11. Tong, J.; Xie, W.; Hu, Y.; Bao, M.; Li, X.; He, W. Estimation of low-altitude moving target trajectory using single acoustic array. *J. Acoust. Soc. Am.* 2016, 139, 1848–1858. [CrossRef] [PubMed]
12. Ferguson, B.G.; Lo, K.W. Turbo-prop and rotary-wing aircraft flight parameter estimation using both narrow-band and broadband passive acoustic signal processing methods. *J. Acoust. Soc. Am.* 2000, 108, 1763–1771. [CrossRef] [PubMed]
13. Reiff, C.; Pham, T.; Scanlon, M.; Noble, J.; Landuyt, A.V.; Petek, J.; Ratches, J. Acoustic Detection from an Aerial Balloon Platform; US Army Research Laboratory: Adelphi, MD, USA, 2004. [13] P. Misra, A. A. Kumar, P. Mohapatra, and P. Balamuralidhar, “Aerial drones with location-sensitive ears,” *IEEE Communications Mag.* vol. 56, no. 7, pp. 154-160, Jul. 2018.

A.D. Budnitskiy, O.V. Martianov, V.B. Sychkov
**FEASIBILITY OF UAV UTILIZATION PILOT REGION
CREATION ESTIMATION ON THE TOMSK REGION CASE**

*Advanced research fund, Moscow
sib@fpi.gov.ru*

Wide application UAV in the civil industry is hindered with specific of the air airspace management regulations and not matured UAV technologies. Practical UAV utilization testing under conditions of Pilot region (PR) is progressive tool for its integration at common air space. Such approach allows operatively and safely explore obstacles in the legislation and technical regulations, bring a practice in UAV systems utilization and create technical demand for UAVs, a functional load and ground infrastructures.

Analytic work aimed to estimation of feasibility and methodology for creating of PR for service-transport tasks in Tomsk region was carried out by Advanced research fund and engaged experts.

Demand in UAV functional services (FS) among companies and organizations of the Tomsk region was analyzed to detect presence of an economically proved base in the Tomsk region. The list of tasks including 103 items was created. The structure of demands divided on types of services and consumers was analyzed in the paper.

Operation cards for FSs were created. FSs include customers' objects characteristics, specifications of FS results, FS realization scenario, list of equipment and functional load required for each FS implementation.

Taking into account market growth forecast, expected demand of Tomsk region in FSs is 1 367,8 mln.rubl. up to 2020 year.

Four possible types of management models and business models for the PR were studied while determining of Tomsk PR concept. Optimal models for evolution period of the PR and models for period of maturity were chosen and proved. On the base of information about structure and value of FS demand and using of the proposed business model was made a business plan for the PR. Collective PR' business processes breakeven point is estimated for fourth year from PR start operation. It allows to conclude that PR is self-sustainable and has internal resources for developing.

Obtained results allowed made a conclusion that there are enough conditions to establish PR in Tomsk region and start to project a PR's infrastructure and regulations.

Description of PR's structure includes a group of ground based and informational infrastructure elements which will provide implementation of all 103 tasks and perspective for PR developing.

The informational infrastructure is shown as a description of a PR management system including following modules: UTM, aeronavigation and meteorological information providing, cyberattack defense, geofencing, recording of UAVs, groundbase infrastructures and economic performance of PR.

The PR passport was made to systematize of PR's participants interaction processes.

Lists of laws connected to UAV application were created in result of the Russian Federation legislation analyze. Regulative barriers which block using of UAV and activities to overcome these in PR are defined.

A draft of Pilot Region Policy was created to start administrative procedure of legitimization PR at Tomsk region. The draft realized as an appendix to a regulatory legal act of Russian Federation Government.

According to Road map of PR for UAV utilization in Tomsk region creation all results will be transfer to Tomsk regional Administration for further implementation.

Creation of the PR will allow safely and effective develop Russian Federation legislation related to UAV, develop and test perspective technologies in field of UAV utilization, and provide an instrument for diversification of defense industry companies. This will provide sustainable development and competitiveness on the worldwide market for Russian companies.

О.В. Мартьянов, А.Д. Будницкий, В.Б. Сычков
**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ОПЫТНОГО РАЙОНА
ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ
(БАС) ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЕРВИСНО-ТРАНСПОРТНЫХ
ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Фонд перспективных исследований, Москва
sib@fpi.gov.ru*

Широкое использование БАС для решения производственных задач в гражданской сфере сдерживается как особенностями действующего законодательства и регламентами использования воздушного пространства, так и недостаточным уровнем готовности технологий БАС. Перспективным инструментом интеграции БАС в общее воздушное пространство является практическая отработка их применения в условиях опытного района (далее - ОР). Это позволит оперативно и безопасно выявлять проблемных вопросов правового и технического регулирования, формировать практику применения БАС, формулировать технические требования к перспективным типам БВС, полезной нагрузки и наземной инфраструктуре обеспечения.

С целью создания ОР применения БАС, Фондом перспективных исследований с привлечением временного научного коллектива реализуется аналитическая работа, направленная на оценку возможности и путей создания ОР для выполнения сервисно-транспортных задач на территории Томской области.

Для определения наличия экономически обоснованной базы на территории ОР был выполнен анализ востребованности функциональных сервисов (далее - ФС) со стороны организаций, действующих в Томской области и сформирован перечень потребностей, включающий 103 задачи. В работе проанализирована структура потребностей по типам сервисов и отраслевой принадлежности потребителей.

Разработаны технологические карты функциональных сервисов, которые содержат в себе информацию о характеристиках объектов Заказчика, требованиях к результату сервиса, сценарий выполнения работы и перечень оборудования и полезной нагрузки, необходимой для реализации конкретного сервиса.

С учетом прогноза роста рынка услуг с использованием БАС перспективная потребность Томской области в ФС определена в объеме 1 367,8 млн.руб. к 2020 г.

В рамках формирования облика ОР рассмотрены четыре возможных типа моделей управления и бизнес-моделей ОР, обоснован выбор оптимальных моделей на период создания и развития ОР, а также целевые модели. На базе информации о структуре и объеме спроса на ФС в Томской области и с учетом предложенной бизнес-

модели выполнено технико-экономический обоснование создания ОР. Точка безубыточности коллективных бизнес-процессов в ОР наступает на 4 год реализации проекта, что позволяет сделать вывод об экономической самодостаточности ОР и наличии внутренних ресурсов для развития.

Полученные результаты позволили сделать вывод о достаточном количестве предпосылок для создания ОР в Томской области и приступить к выполнению работ по проектированию инфраструктуры ОР и формированию нормативного обеспечения.

Описание структуры ОР включает набор элементов наземной и информационной инфраструктуры, обеспечивающие реализацию всех 103 задач и обеспечат перспективу развития.

Информационная инфраструктура представлена в виде описания информационной системы управления ОР, включающей средства: организации движения БВС, средства обеспечения аэронавигационной и метеорологической информацией, защиты от неправомерного использования БАС, учета БАС и элементов наземной инфраструктуры, а также учета хозяйственной деятельности ОР.

Для систематизации процедур взаимодействия участников ОР и реализации оптимальной модели управления ОР разработан Паспорт опытного района.

По результатам анализа действующего законодательства РФ сформированы перечни нормативных актов, регламентирующих применения БАС. Определены нормативные ограничения, препятствующие эффективному использованию БАС и предложены мероприятия по их устранению в рамках ОР.

С целью реализации административных процедур по приданию Томской области статуса ОР разработан проект Положения об опытном районе в формате приложения к нормативно-правовому акту Правительства Российской Федерации.

В соответствии с Программой мероприятий (дорожной картой) создания опытного района применения беспилотных авиационных систем в Томской области результаты выполненной работы будут переданы в Администрацию Томской области для использования в дальнейшей работе, предусмотренной указанной дорожной картой.

Создание ОР позволит безопасно и эффективно совершенствовать российское законодательство в сфере БАС, создавать и отрабатывать перспективные технические решения по практическому использованию БАС, а также предоставит площадку для решения задач диверсификации предприятий оборонно-промышленного комплекса. Это обеспечит профильным Российским компаниям устойчивое развития и конкурентоспособность на мировом рынке.

V.S. Verba, V.I. Merkulov
OPTIMIZATION PROBLEM FOR A GROUP OF UAVS
OF JOINT CONTROL, ENSURING THEIR DESIRED
SPATIAL TOPOLOGY

JSC «Concern «Vega», Moscow
from_fn@mail.ru

The solution of a number of economic and military tasks is possible only with the use of large groups of UAVs specially placed in the space.

The purpose of the report is to propose simplified ways of the synthesis of group control for UAVs with long-term preservation of a given topology of participants with reduced requirements for computational performance. The problem was solved in two stages.

At the first stage, on the basis of the dynamic programming method, a strict solution of the linear-quadratic-Gaussian problem was obtained using the quality functional, in which besides the typical terms there was a quadratic form of the weighted arrangement of the UAV. The specificity of the obtained control law is the need to solve a high-dimensional two-point boundary value problem in the reverse time, which requires large computational costs.

At the second stage, by simplifying the previous solution, the task was reduced to local optimization, which significantly simplified obtaining the control law that ensures not only the group's flight along the desired trajectory, but also the prevention of collisions of the UAV within group.

Examples of the synthesis of control for a group of UAVs are considered, the results of research are presented. One of the options for building the desired UAV topology on the plane while bypass dangerous area is shown on the figure.

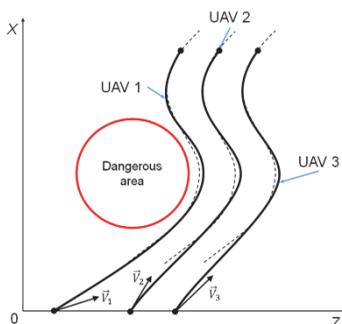


Figure 1 – Dangerous area bypass trajectories for a group of UAVs

В.С. Верба, В.И. Меркулов
**ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ГРУППОЙ БЛА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ИХ ТРЕБУЕМУЮ
ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ТОПОЛОГИЮ**

*АО «Концерн «Вега», Москва
from_fn@mail.ru*

Решение ряда хозяйственных и военных задач возможно только при использовании больших групп размещенных в пространстве БЛА.

Цель доклада – предложить упрощенные варианты синтеза группового управления БЛА с длительным сохранением заданной топологии участников со сниженными требованиями к вычислительной производительности. Задача решалась в два этапа.

На первом этапе на основе метода динамического программирования было получено строгое решение линейно-квадратично-гауссовской задачи с использованием функционала качества, в котором кроме типовых слагаемых присутствовала квадратичная форма взвешенного расположения БЛА. Спецификой полученного закона управления является необходимость решения высокоразмерной двухточечной краевой задачи в обратном времени, требующей больших вычислительных затрат.

На втором этапе путем упрощений предыдущего решения задача была сведена к локальной оптимизации, что существенно упростило получение закона управления, обеспечивающего не только полет группы по требуемым траекториям, но и предотвращение столкновений БЛА внутри нее.

Рассмотрены примеры синтеза управления группой БЛА, приведены результаты исследований. Один из вариантов построения требуемой топологии БЛА на плоскости при обходе опасной зоны показан на рисунке.

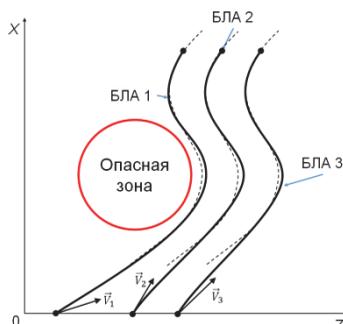


Рисунок 1 – Траектории обхода опасной зоны группой БЛА

V.I. Merkulov, D.A. Milyakov, A.S. Plyashechnik
**SYNTHESIS OF PHASED ANTENNA ARRAYS FOR LONG-
RANGE MOBILE RADARS BASED ON QUADCOPTERS**

*JSC «Concern «Vega», Moscow
from_fn@mail.ru*

Strengthening the role of unmanned aerial vehicles (UAVs) for various purposes due to their group use allows obtaining a number of advantages in solving a wide class of tasks. At the same time, the new advantages of group use of UAVs are due to: the difficulty of separate observation of the group members and, accordingly, the difficulties of tracking and target distribution; the inability to serve the entire large group with the number of participants exceeding the capacity of the information control system of the opposing side; the increase in the behavioral complexity of the UAV in solving various problems through the use of artificial intelligence; random change of the spatial position of individual UAVs within the group, preventing their detection and selection of virtually all types of information systems.

The noted advantages of the UAVs groups are especially pronounced in the implementation of such a new task as the formation and use of temporary phased antenna arrays (PAA) of large sizes based on multikopter for the implementation of long-range radar systems.

In this regard, the purpose of the report is to present a variant of the algorithm for the formation and functioning of such a PAA. On the example of solving the task of maintaining an air object, the features of the operation of a radar with a PAA based on a group of UAVs are illustrated (see figure).

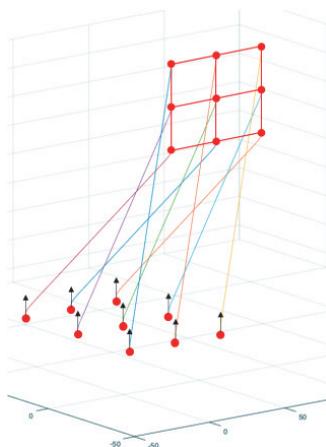


Figure 1 – An example of the PAA formation based on a group of UAVs

В.И. Меркулов, Д.А. Миляков, А.С. Пляшечник
СИНТЕЗ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК
ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РЛС БОЛЬШОЙ ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ
НА БАЗЕ КВАДРОКОПТЕРОВ

АО «Концерн «Вега», Москва
from_fn@mail.ru

Усиление роли беспилотных летательных аппаратов (БЛА) различного назначения за счет их группового применения позволяет получить ряд преимуществ при решении широкого класса задач. При этом новые преимущества группового применения БЛА обусловлены: сложностью раздельного наблюдения участников группы и, соответственно, сложностями сопровождения и целераспределения; невозможностью обслуживать всю большую группу с числом участников, превышающим пропускную способность информационно-управляющей системы противоборствующей стороны; возрастанием поведенческой сложности БЛА при решении различных задач за счет использования искусственного интеллекта; случайной сменой пространственного положения отдельных БЛА внутри группы, препятствующей их обнаружению и селекции практически всеми видами информационных систем.

Отмеченные преимущества групп БЛА особенно ярко проявляются при реализации такого нового приема как формирование и использование временных фазированных антенных решеток (ФАР) больших размеров на базе мультикоптеров для реализации больших дальностей действия радиолокационных систем (РЛС).

В связи с этим целью доклада является представление варианта алгоритма формирования и функционирования такой ФАР. На примере решения задачи сопровождения воздушного объекта проиллюстрированы особенности функционирования РЛС с ФАР на базе группы БЛА (см. рисунок).

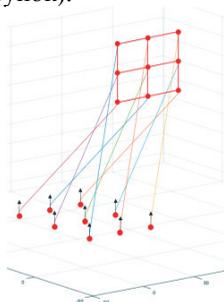


Рисунок 1 – Пример формирования ФАР на базе группы БЛА

S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky, N.D. Beklemishev
**IMPLEMENTATION OF INTERPRETIVE NAVIGATION BY
THE COMPUTER VISION SYSTEM MODULES**

*Keldysh Institute of Applied Mathematics
Russian Academy of Sciences, Moscow
sokolsm@list.ru, anbg74@mail.ru, n_bekl@mail.ru*

The implementation of interpretive navigation method by means of the information system based on the computer vision system is considered in the paper. The Interpretive Navigation (IN) method has been developed in the Keldysh Institute of Applied Mathematics of the Russian Academy of Sciences since the seventies of the last century. Under the IN method, the mobile robot's (MR) position in the field is defined not in the Cartesian coordinate system (CCS) but based on the vicinity descriptions in terms of the environment visible features: topographic features and the way they change on the move. In this case, the analog of the CCS quantitative model is a different, qualitative model – graph of information equivalence. In this description, the graph nodes are aligned with the connected areas that have the same information and visual content – areas of information equivalence, and the graph edges correspond to the changes of these descriptions in the transition from one area to another. In this situation, the MR movement is based on a predefined set of informational and motor actions. The IN approach allows effectively meet the challenges of the known direction in providing targeted movement of mobile modes of transportation known as the abbreviation SLAM in the Western countries. The interpretive navigation obviates the need of collecting and processing huge amount of three-dimensional data and allows us to focus on determination and processing of the special features – operating environment landmarks.

The most complete information management system for terrestrial and airborne modes of transportation is formed by the so-called “navigation cross” scheme including global satellite system; traditional navigation system consisting of inertial navigation system, system for dead reckoning and correcting by landmarks; interpretive (or qualitative) navigation and operator. The combination of all components of this scheme solves the navigation problem in the majority of cases but requires different kinds of infrastructural and sensory support. The vision systems provide the most complete and reliable information on identification and relative disposition of the vicinity objects and a mobile vehicle.

We target our efforts towards formation of the most efficient (based on the quality-price ratio) standardized modular hardware and software architecture of the technical vision system to solve a wide range of tasks

regarding targeted movement of mobile vehicles with a high degree of autonomy and fully autonomous vehicles in difficult operating conditions when it is not possible to use all the variety of navigation aids at the same time. The hardware part of these technical vision systems architecture consists of recording units (RU) reconfigurable combinations (network) and computing electronic units (CEU), and the software part is a large-scale software framework of the real-time computer vision systems. The selection of the landmarks is one of the key tasks of targeted movements provision. At this stage of research, we simplified the task of identifying landmarks and used special tags – markers. We analyzed the well-known marker systems and decided to make our own: reliable and allowing making improvements. We have examined two modes of information management for targeted movements. First: through the observance of the landmarks with known absolute coordinates, tracing the vehicle movement in a given coordinate system. We used a computer vision system with one viewing field (monocular RU) for this purpose. Second: through the observance of the landmarks relative disposition, constructing the route from the initial position to the position specified relatively to indicated one or several landmarks. In this case, a computer vision system with a stereo module is used, it allows us to qualitatively assess the mutual disposition of objects in space. In both cases, an internal representation of the surrounding space is constructed – model/map, graph of information equivalence. In one case it is connected with absolute coordinates, in the other it has a relative connection. When entering data on the mobile vehicle initial position or specifying absolute coordinates of one of the landmarks, we can absolutely bind all the landmarks and transfer the data to a traditional GIS map.

In parallel with the research activity, we work on automatic selection of landmarks, in particular, the ones in the natural environment. In the near future, the interpretive navigation method will be shifted to implement autonomous movements in the natural environment without the need of the special tags use.

С.М. Соколов, А.А. Богуславский, Н.Д. Беклемишев
РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРПРЕТИРУЮЩЕЙ НАВИГАЦИИ С
ПОМОЩЬЮ МОДУЛЕЙ СТЗ

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва
sokolsm@list.ru, anbg74@mail.ru, n_bekl@mail.ru

В статье рассматривается реализация метода интерпретирующей навигации с помощью информационной системы на основе системы технического зрения. Метод интерпретирующей навигации (ИН) разрабатывается в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН с семидесятых годов прошлого века. Суть ИН заключается в том, что положение мобильного робота (МР) на местности определяется не в декартовой системе координат (ДСК), а на основе описаний окружающего пространства на языке видимых особенностей среды – ориентиров и их изменений в процессе движения. При этом аналогом количественной модели ДСК выступает иная, качественная модель, – граф информационной эквивалентности. В таком описании вершинам графа соответствуют связные районы местности с одинаковым информационно-визуальным содержанием – районы информационной эквивалентности, а ребрам – изменение этих описаний при переходе из района в район. В этом случае организация передвижения МР основывается на фиксированном наборе информационно-двигательных действий. Подход ИН позволяет эффективно решать задачи известного направления в обеспечении целенаправленных перемещений мобильных средств, получившее на западе сокращённое название SLAM. Интерпретирующая навигация исключает сбор и обработку огромных массивов трёхмерных данных и позволяет концентрировать ресурсы на определении и обработке особенностей – ориентиров среды функционирования.

Для наземных и воздушных средств наиболее полную систему информационного обеспечения образует так называемый «навигационный крест», включающий: глобальную спутниковую систему; традиционную навигационную систему, состоящую из инерциальной навигационной системы, системы числения пути и корректировки по ориентирам; интерпретирующую (или качественную) навигацию и оператора. Комплексование всех составляющих этого креста обеспечивает решение навигационной задачи в большинстве практических случаев, но требует разнообразной инфраструктурной и сенсорной поддержки. Зрительные системы представляют наиболее полную и достоверную информацию об идентификации и относительном расположении объектов окружающего пространства и подвижного средства.

Мы сосредотачиваем свои усилия на формировании наиболее эффективной (по соотношению цена/качество) унифицированной модульной программно-аппаратной архитектуре СТЗ для решения широкого круга задач целенаправленных перемещений подвижных средств с повышенной степенью автономии и полностью автономных в сложных условиях функционирования, когда нет возможности использовать все многообразие навигационных средств одновременно. Аппаратную часть архитектуры этих СТЗ образуют реконфигурируемые комбинации (сеть) регистрирующих блоков (РБ) и вычислительно-управляющих блоков (ВУБ), а программную часть – крупномасштабный каркас программного обеспечения (ПО) СТЗ реального времени. Выделение ориентиров в окружающем пространстве представляет собой одну из ключевых задач обеспечения целенаправленных перемещений. На описываемом этапе исследований мы упростили задачу выделения ориентиров и использовали специальные метки – маркеры. Проанализировали известные системы маркеров и решили подготовить свою, отличающуюся надежностью и возможностью вносить усовершенствования. Исследовали два режима информационного обеспечения целенаправленных перемещений. Первый: по наблюдению ориентиров с известными абсолютными координатами построение траектории перемещения подвижного средства в заданной системе координат. Для решения этой задачи используется СТЗ с одним полем зрения (монокулярный РБ). Второй: по наблюдению относительного расположения ориентиров построение маршрута движения из начального положения в заданное относительно указанного ориентира или ориентиров. В этом случае используется СТЗ со стереомодулем, позволяющим качественно оценивать взаимное расположение объектов в пространстве. И в одном, и в другом случае строится внутренне представление окружающего пространства – модель/карта, в виде графа информационной эквивалентности. В одном случае с привязкой к абсолютным координатам, в другом с относительной привязкой. При внесении данных о начальном положении подвижного средства или указании абсолютных координат одного из ориентиров, возможна абсолютная привязка всех ориентиров и перенос данных на традиционную карту ГИС.

Параллельно с описываемыми исследованиями ведутся и работы по автоматическому выделению ориентиров в окружающем пространстве, в частности, в естественной среде. В ближайшей перспективе будет осуществлен перенос метода интерпретирующей навигации для осуществления автономных перемещений в естественной среде без внесения специальных меток.

A.E. Ananenko, D.V. Marin, V.M. Nuzhdin, V.B. Schneider
**INTERFEROMETRIC RSA FOR THE ICE SITUATION
MONITORING**

*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow
vschndr@gmail.com*

To conduct successful economic activities in the Arctic and solve a number of scientific problems, it is necessary to monitor the ice situation (MIS) - regular observations of the distribution, characteristics, and dynamics of sea ice. The need for the widespread introduction of unmanned aerial MIS vehicles in this area is due to the ability to reduce the risk of loss of human life and the cost of monitoring, taking into account the lower cost of flight hours, to eliminate the need to create and maintain readiness of the landing field or helicopter platforms. The most promising in terms of reducing the costs are small-class UAVs, the explosive growth of interest in which is observed today all over the world.

International experience shows the desire to create radar monitoring tools for unmanned carriers and, if possible, reduce their weight and size characteristics, since UAVs with low take-off weight do not allow the use of radar samples developed for traditional aircraft. As a result, the creation of compact radars with synthesized antenna aperture (RSA), which allows reducing the size and weight of the antenna system qualitatively, requires the development of specialized solutions. Practical work on their creation is carried out by experts in Germany, USA and Russia.

A miniature interferometric radar with synthesized antenna aperture for installation on a small class UAV is being developed at MAI (NRU) on the basis of existing radar samples for UAVs and compact radars for other applications. The main technical characteristics of the interferometric RSA for the MIS are summarized in Table 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики РЛС МЛЮ

Parameter	Value
Flight height (H), m	500...1500
Radiation wavelength, cm	3
Surface mapping range, km	4
Maximum geometric resolution, m	1
Weight, kg	less than 10

Since the conducted studies showed the possibility of implementing equipment with the required characteristics, the manufacture of an experimental sample of an interferometric RSA MIS was started. The radar has a transmitting channel and two identical receiving channels with the homodyne receiving method. A broadband continuous signal with linear frequency modulation is used as a probing signal.

In parallel, the development and testing of software and algorithmic means of obtaining radar images were carried out. Figure 1 shows a RSA image of a terrain area (brightness corresponds to the intensity of reflection) and the same terrain area with interferometric processing (brightness corresponds to height).

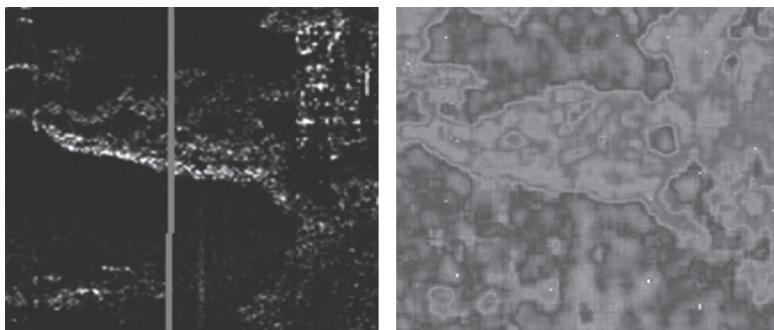


Figure 1 – RSA image of a terrain area (on the left — brightness corresponds to the intensity of reflection) and the same terrain with interferometric processing (on the right — brightness corresponds to height)

The implementation of the proposed solutions allows for the production of a radar complex for operational monitoring of the ice situation based on a small UAV with a minimum life cycle cost and increased reliability.

This report is based on the results of applied research and experimental work (PNIER) on the topic: “Creating a scientific and technical reserve in the field of building a unified miniature onboard radar target load of small-sized unmanned aerial vehicles for monitoring ice conditions in the construction and operation of oil and gas platforms”. Agreement No. 14.577.21.0226.

The unique identifier of PNIER RFMEFI57716X0226.

А.Е. Ананенков, Д.В. Марин, В.М. Нуждин, В.Б. Шнайдер
**ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ РСА МОНИТОРИНГА ЛЕДОВОЙ
ОБСТАНОВКИ**

*Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), Москва
vschndr@gmail.com*

Для ведения успешной хозяйственной деятельности в Арктике и решения ряда научных задач необходимо осуществлять мониторинг ледовой обстановки (МЛО) - регулярные наблюдения за распределением, характеристиками, динамикой морских льдов. Необходимость широкого внедрения беспилотных средств МЛО в данной области обусловлена возможностью снизить риски потери человеческих жизней и затраты на проведение мониторинга с учётом меньшей стоимости лётного часа, избавить от необходимости создания и поддержания в готовности ВПП или вертолётных площадок. Наиболее перспективны в плане снижения издержек БЛА малого класса, взрывной рост интереса к которым сегодня наблюдается во всём мире.

Международный опыт показывает стремление создать радиолокационные средства мониторинга для беспилотных носителей и снизить по возможности их массогабаритные характеристики, поскольку БЛА с малым взлётным весом, не позволяют использовать образцы радиолокаторов, разработанные для традиционной авиационной техники. В результате создание малогабаритных радиолокаторов с синтезированием апертуры антенны (РСА), позволяющих качественно снизить габариты и вес антенной системы, требует разработки специализированных решений. Практические работы по их созданию ведутся специалистами в Германии, США, России.

В настоящее время в МАИ (НИУ) на базе существующих образцов радиолокаторов для БЛА и компактных РЛС для других сфер применения разрабатывается миниатюрный интерферометрический радиолокатор с синтезированием апертуры антенны для установки на БЛА малого класса. Основные технические характеристики интерферометрической РСА МЛО сведены в таблицу 1.

Поскольку проведённые исследования показали возможность реализации аппаратуры с требуемыми характеристиками было начато изготовление экспериментального образца интерферометрической РСА МЛО. Радиолокатор имеет передающий канал и два идентичных приёмных канала с гомодинным методом приёма. В качестве зондирующего сигнала используется широкополосный непрерывный сигнал с линейной частотной модуляцией.

Таблица 1. Основные технические характеристики РЛС МЛЮ

Параметр	Значение
Высота полета (Н), м	500...1500
Длина волны излучения, см	3
Дальность картографирования поверхности, км	4
Предельное геометрическое разрешение, м	1
Масса, кг	менее 10

Параллельно проводились разработка и тестирование программно-алгоритмических средств получения радиолокационных изображений. На рисунке 1 приведены РСА изображение участка местности (яркость соответствует интенсивности отражения) и тот же участок местности с интерферометрической обработкой (яркость соответствует высоте).

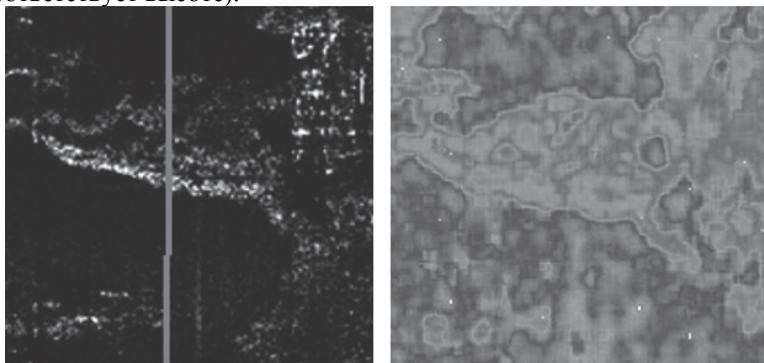


Рисунок 1 – РСА изображение участка местности (слева – яркость соответствует интенсивности отражения) и тот же участок местности с интерферометрической обработкой (справа – яркость соответствует высоте)

Внедрение предложенных решений позволяет обеспечить возможность производства радиолокационного комплекса оперативного мониторинга ледовой обстановки на базе малого БЛА с минимальной стоимостью жизненного цикла и повышенной надёжностью.

Данный доклад сделан по результатам выполнения прикладной научно-исследовательской и экспериментальной работы (ПНИЭР) по теме: «Создание научно-технического задела в области построения унифицированной миниатюрной бортовой радиолокационной целевой нагрузки малоразмерных беспилотных летательных аппаратов для мониторинга ледовой обстановки при строительстве и эксплуатации нефтегазовых платформ». Соглашение № 14.577.21.0226.

Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57716X0226.

A.B. Belskiy
**TASKS OF CREATION OF ROBOTIC
HELICOPTER COMPLEXES**

*JSC Moscow Helicopter Plant M.L. Mile,
Lyubertsy, R.-P. Tomilino, Russia
abelskiy@mi-helicopter.ru*

In modern conditions, the operation of a helicopter in difficult and extreme climatic and geographical conditions is characterized by an ever more complex process of information and control interaction in the «crew-aircraft navigation system».

Viewgraph № 1

The main way to significantly improve piloting efficiency and perform special tasks for modern and promising helicopters is, of course, robotization of control functions, based on the intellectualization of the decision-making process by crews in performing tasks, both individual and in group use of helicopter complexes.

Robotization should be directed to the helicopters to perform a larger volume of tasks in automatic autonomous mode. Such stages of flight as takeoff, landing, hovering, flying along a given route, performing special tasks can and should be considered for automation first of all.

Viewgraph № 2

The approximate stages of development of robotic complexes are given.

Stage I: The onboard systems of the helicopter is additionally equipped with a system of intelligent decision making (elements), which should provide support to the pilot when performing the flight.

Consideration of equipping helicopters with special software and hardware complexes.

Stage II: A smart control system can be implemented by helicopter. Tasks will be performed by helicopter more automatically, but under the control of the pilot.

All onboard systems of the helicopter function in this automatic mode.

The process of interaction of the helicopter with the ACS, ground control points and other aircraft should also be worked out.

The following technologies should be implemented in the second phase:

- automated management of group piloting, performing special tasks;
- a system of intellectual support for crews in the performance of basic flight and other tasks.

Stage III: The helicopter must «work» in an automated mode under the control of the decision support system (intelligent system) with the

support of solving tasks in various control loops as part of mixed-type aircraft, while ensuring:

- full safety of the flight in an automated mode (including as part of a group of helicopters);
- integration into a single network-centric control system, ensuring interaction with UAVs, ground points taking into account the analysis of preferred scenarios for their use, information exchange options and management strategies.

Stage IV: The helicopter operates autonomously, without the participation of the pilot. It provides autonomous piloting, the ability to «think» and «make independent decisions» with significantly improved parameters (in terms of speed and accuracy, quality of the decision).

Viewgraph № 3

By 2030, the proportion of unmanned helicopter complexes should be more than 50%. The main trend is integration into the integrated tactical command and control system. The main priorities are the creation of hybrid (combined) man-robot complexes.

The priority technology of robotization is the creation of special control rooms monitoring that ensure the autonomy of control and the intellectualization of the onboard systems.

Viewgraph № 4

An example of a process of autonomous control of a helicopter (AACUS program, the customer is DARPA). Robotization, as a mechanism for software and hardware “learning” by the control, is to identify and respond to dangerous events in flight and to adjust to ensure safe flight.

Viewgraph № 5

The main tasks and requirements for automation (robotization) of the functions of helicopter complexes.

Viewgraph № 6

Methodological tools and mechanisms for the implementation of the robotization process (automation and intellectualization) of the onboard systems of helicopter complexes, including optimization, support and decision-making procedures.

Viewgraph № 7

Proposals for the draft concept of helicopter robotization until 2025.

Viewgraph № 8

The principle of the hardware implementation (software and hardware construction) of the intellectualization (automation of control) of the onboard systems functions during the introduction of the combat information and control system.

The possibility of introducing a combat information and control system in regular onboard systems of upgraded helicopters is shown.

Viewgraph № 9

Scheme of the “network robotization” of tactical tasks of helicopter complexes.

Viewgraph № 10

Implementation of the management of autonomous group use of helicopters based on information management systems and algorithms for group use.

Viewgraph № 11

The scheme of automatic control of helicopters in the framework of the creation of network contours.

Viewgraphs № 12-14

Basic technologies of structural and functional robotization of subsystems onboard systems of helicopter complexes.

1. Zheltov Yu.S. Vizilter Yu.V. Prince V.A. Vygolov O.V. Obstacle detection in vehicle control system. Report at the 3rd International Conference "Digital Information Processing and Emergency Management" Minsk, 2002
2. Makarenko N.S. Military robotic complexes - the current state and development prospects. UDC 007.52.
3. Sizov V.Yu. What combat robots are needed by Russia // Military Review (electronic resource) 03/07/2016 - URL: <https://topwar.ru/91912-kakie-boevye-roboty-nuzhny-rossii.html>.
4. Mchenry R. ACTUV ASW Continuous Trail Unmanned Vessel Industry Day - USA, DARPA, 2010.
5. The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan - USA, Department of the Navy, 2004.
6. Unmanned aerial vehicle ELBIT Hermes 900 (electronic resource). URL: <https://www.ejwiki.org/wiki>

А.Б. Бельский
**ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
ВЕРТОЛЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*АО «Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля»,
г. Люберцы, р.-п. Томилино
abelskiy@mi-helicopter.ru*

В современных условиях эксплуатация вертолетом в сложных и экстремальных климатических и географических условиях характеризуются все более усложняющимся процессом информационно-управляющего взаимодействия в системе «экипаж-пилотажно-навигационный бортовой комплекс».

Слайд № 1

Главным способом существенного повышения эффективности пилотирования и выполнения специальных задач для современных и перспективных вертолетов, безусловно, становится роботизация функций управления, основанная на интеллектуализации процесса принятия решения экипажами при выполнении поставленных задач, как индивидуальных, так и при групповом применении вертолетных комплексов.

Роботизация должна быть направлена на выполнение вертолетами большего объема задач в автоматическом автономном режиме. Такие этапы полета, как взлёт, посадка, висение, полет по заданному маршруту, выполнение специальных задач могут и должны рассматриваться для автоматизации в первую очередь.

Слайд № 2

Приведена примерная этапность развития робототехнических комплексов.

I-й этап: Бортовой комплекс (БК) вертолета дополнительно оснащается системой интеллектуального принятия решения (элементами), которая должна обеспечивать поддержку летчику при выполнении полета.

Рассматривается дооснащение БК вертолетов специальными программно-аппаратными комплексами.

II-й этап: На вертолете может быть реализована система интеллектуального управления. Задачи будут выполняются вертолетом больше в автоматическом режиме, но под контролем летчика.

Все бортовые системы вертолета при этом функционируют в автоматическом режиме.

Процесс взаимодействия вертолета с АСУ, наземными пунктами управления и другими ЛА должен быть также отработан.

В рамках второго этапа должна быть реализованы следующие технологии:

- автоматизированное управление групповым пилотированием, выполнением специальных задач;
- система интеллектуальной поддержки экипажей при выполнении основных полетных и других задач.

III-й этап: Вертолет должен «работать» в автоматизированном режиме под управлением СППР (интеллектуальной системы) с обеспечением решения задач в различных контурах управления в составе группировок ЛА смешанного типа, обеспечивая при этом:

- полную безопасность выполнения полета в автоматизированном режиме (в том числе в составе группы вертолетов);
- интеграцию в единую сетевую систему управления, обеспечение взаимодействия с БЛА, НПУ с учетом анализа предпочтительных сценариев их применения, вариантов информационного обмена и стратегий управления.

IV-й этап: Вертолет функционирует автономно, без участия летчика. Обеспечивается автономное пилотирование, способность «мыслить» и «принимать самостоятельные решения» со значительно улучшенными параметрами (по скорости и точности, качеству принимаемого решения).

Слайд № 3

К 2030 году доля безэкипажных ВК должна составить более 50 %. Основная тенденция – интеграция в ЕСУ. Основные приоритеты – создание гибридных (комбинированных) комплексов «человек-робот».

Приоритетная технология роботизации – создание специальных ПАК, обеспечивающих автономность управления и интеллектуализацию КБО.

Слайд № 4

Пример процесса автономного управления вертолетом (программа AACUS, заказчик – DARPA).

Роботизация, как механизм программно-аппаратного «обучения» управлением, заключается в выявлении и реагировании на опасные события в полете и в корректировке для обеспечения безопасного полета.

Слайд № 5

Основные задачи и требования по автоматизации (роботизации) функций вертолетных комплексов.

Слайд № 6

Методологические инструменты и механизмы реализации процесса роботизации (автоматизации и интеллектуализации) КБО вертолетных комплексов, включая процедуры оптимизации, поддержки и принятия решений.

Слайд № 7

Предложения в проект концепции (КЦП) роботизации вертолетов до 2025 г.г.

Слайд № 8

Принцип аппаратной реализации (программно-аппаратного построения) интеллектуализации (автоматизации управления) функций КБО при внедрении БИУС.

Показана возможность внедрения БИУС в штатные КБО модернизируемых вертолетов.

Слайд № 9

Схема «сетевой роботизации» тактических задач вертолетных комплексов.

Слайд № 10

Реализация управления автономным групповым применением вертолетов на базе информационно-управляющих систем и алгоритмов группового применения.

Слайд № 11

Схема автоматического управления вертолетами в рамках создания сетевых контуров.

Слайды 12-14

Базовые технологии структурной и функциональной роботизации подсистем КБО ВК.

1. Желтов Ю.С. Визильтер Ю.В. Князь В.А. Выголов О.В. Обнаружение препятствий в системе управления транспортным средством. Доклад на 3-ой международной конференции «Цифровая обработка информации и управление в чрезвычайных ситуациях» Минск, 2002
2. Макаренко Н.С. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития. УДК 007.52.
3. Сизов В.Ю. Какие боевые роботы нужны России// Военное обозрение (электронный ресурс) 07.03.2016 – URL:<https://topwar.ru/91912-kakie-boevye-roboty-nuzhny-rossii.html>.
4. Mchenry R. ACTUV ASW Continuous Trail Unmanned Vessel Industry Day – USA, DARPA, 2010.
5. The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan – USA, Department of the Navy, 2004.
6. Беспилотный летательный аппарат ELBIT Hermes 900 (электронный ресурс). URL:<https://www.ejwiki.org/wiki>

S.L. Zenkevich, A.V. Nazarova, Jianwen Huo
MOTION CONTROL METHOD OF GROUP ROBOT
BASED ON VISUAL INFORMATION FROM DRONE

*Robotics Training-Research Center,
Bauman Moscow State Technical University, Moscow
zenkev@bmstu.ru,avn@bmstu.ru,huojianwen@hotmail.com*

Currently, group robot is used in the fields of transportation, military and so on. For example, in the case of an earthquake, two types of robots are used: a drone designed to gather information and mapping or search and rescue detection of suspicious objects, and ground robots will also head for the object, scatter, surround and accompany it.

This paper discusses the movement of a group of robots in an environment with obstacles, in which the drone and the lead robot must install sensor system that allows to construct fragment of the trajectory which robots move along, for example, vision system, laser scanning range finder. However, due to the changing of external environment or assigned task, it is difficult for a group of robots to maintain only a certain formation when perform specified task. The purpose of this work is to control the movement of a group of mobile robots based on data from the accompanying drone. It is divided into two subtasks: first, the construction of trajectory fragment in the robot coordinate system using the map obtained from the drone. Secondly, the motion control of group robot in an environment with obstacles.

Let the drone fly over obstacles and mobile robots, photographing with camera and transferring obtained images to the lead robot to formed global map by image stitching. And the local map is built by the lead robot equipped a scanning laser range finder. In order to transform the global map into the robot coordinate system, we use the method of least squares. After that, two types of planning are used: global and local. In the global map from the initial to the target position, global planning generates a sequence of points based on the Dijkstra algorithm, and along the global trajectory, local planning is carried out using the Dynamic Window algorithm based on the incoming data from the scanner.

The strategy of controlling the movement of group robot is as follows: when the topology formation of group robot is changed in an environment with obstacles, the finite automata theory is used to controlled the state transitions, and the principle of skew lines is used to avoid collisions, that is when the paths cross, one robot stops to let another pass.

We have finished a series experiments to confirm the operability of the proposed algorithm of trajectory planning and of the formation changing strategy of group robot.

С.Л. Зенкевич, А.В. Назарова, Цзяньвень Хо
МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ РОБОТОВ
НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ ДРОНА

*Научно-учебный центр «Робототехника»
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва
zenkev@bmsu.ru, avn@bmsu.ru, huojianwen@hotmail.com*

В настоящее время группы роботов используются при транспортировке грузов, в задачах поиска и охраны. Так при землетрясениях используются два типа роботов: дроны для решения задач сбора информации и картографирования местности или для поисково-спасательных операциях пострадавших, и наземные роботы, которые направляются к объекту, окружая и сопровождая его, эвакуацию из опасной зоны.

В данной работе рассматривается движение группы роботов в среде с препятствиями, при которых дрон и наземный ведущий робот группы должны быть связаны сенсорной системой, позволяющей строить фрагменты программной траектории, и включающей системы технического зрения, сканирующие лазерные дальномеры, на основании полученных данных группа мобильных роботов в строю должна перемещаться вдоль заданной программной траектории. Однако, из-за изменяющейся внешней среды или коррекции поставленной задачи группе роботов трудно поддерживать определенную форму строя для реализации требуемых задач. Поэтому цель данной работы состоит в управлении движением группы мобильных роботов по данным от сопровождающего дрона. Управление заключается в том, что групповая задача разбивается на две подзадачи: во-первых, построение фрагмента программной траектории в системе координат наземного робота по карте, полученной от дрона, во-вторых, управление движением группы мобильных роботов в среде с препятствиями.

Пусть дрон облетает заданную территорию препятствиями и мобильными роботами, фотографируя её с помощью камеры и передавая ведущему роботу глобальную карту, сформированную методом сшивания изображений. Локальная карта строится ведущим роботом группы, оснащённым сканирующим лазерным дальномером. Трансформация глобальной карты в систему координат робота выполняется с использованием метода минимизации квадрата. После этого решаются задачи планирования: глобальная и локальная. В

исходной карте глобальное планирование генерирует последовательность точек от начального до целевого положения на основе алгоритм Дейкстры, а затем, по поступающим данным от сканера осуществляется локальное планирование вдоль глобальной траектории с помощью алгоритма Dynamic Window.

Стратегия управления движением группы роботов состоит в том, что на логическом уровне, основанном на теории аппарата конечных автоматов, изменяется последовательность переходов управления и топология группы роботов в среде с препятствиями. При перестроении обеспечить необходимо отсутствие столкновений роботов, для чего используется принцип скрещивающихся прямых, то есть робот стоит определенное время и пропускает другой, движущийся по пересекающейся траектории.

Серия проведенных вычислительных экспериментов подтвердила работоспособность предложенного алгоритма построения программной траектории, а также стратегии управления перестроением группы роботов.

D.V. Senchuk, R.V. Meshcheryakov
**DESIGNING CONTROL SYSTEM FOR REMOTELY
PILOTED AIR SYSTEMS (RPAS)**

*The Institute of Control Sciences V.A. Trapeznikov
Russian Academy of Sciences, Moscow
tyxer2006@gmail.com*

Currently, the advanced technical studies of the scientific community more and more often focus on idea of designing an effective control system for autonomously operating multi-component remotely piloted aircraft systems (RPAS), consisting of aircrafts with different functional purposes. The study of this issue will discover how to solve successfully and efficiently a wide range of problems in the case of limited time, adverse weather conditions or places unfit for human habitation.

Designing RPAS control system is a complicated technology process, due to a variable number of aircrafts in the autonomously operating multi-component RPAS, as well as the dynamic and unpredictable nature of the environment, where the tasks should be fulfilled. Thus, according to the researcher's opinion, it is expedient to determine the structural organization of the group control system (GCS) right at the stage of development scenarios of possible RPAS application. Let's review some of available options.

Centralized GCS is notable for simple organization and construction of algorithm for group control, as in this case the entire RPAS is Θ , consisting of N robots, viewed as a whole, as a single control system with many degrees of clamping. Thus each UAV (Unmanned Aircraft Vehicle) of the system $R_i \in \Theta$ ($i = 1, N$) must constantly transmit data to CCU about its current state R_i , ambient condition of the external environment E_i , in other words, the vector function information $S_i = (R_i, E_i)$. Based on this information, GCS figures out automatically or with operator for all UAVs task of forming actions A_i ($i = 1, N$), aimed at optimal achievement of the target group in the current situation.

Therefore, this option of RPAS control system construction does not ensure the maximum certainly value for the successful solution of practical problems, in case of nondeterministic environment and possible failures of control signal transmission from CCU.

In order to neutralize weaknesses discovered during centralized GCS construction, it is advisable to consider distributed (decentralized) systems of group control for robots. Let us view an example of implementation of the studied GCS as multicomponent RPAS consisting of three unmanned

aircraft vehicles (UAVs). Aircrafts in the group are divided into patrol and cargo ones, so they differ from each other in their cruising speed v_k , battery capacity b_k , and set of pre-installed aircraft hardware $\chi\{y, u\}$, where y is the useful load of pilot robot, and u is one of transport robot.

Structure of decentralized GCS, implementing collective control strategy, is shown in Fig. 2. Here, each robot from group R_j has its own control system CS_j . These systems are integrated with data communication channel, but each CS_j is responsible for selecting actions A_j for robot R_j in the group. Information about action A_j , selected by CS_j , is announced to the rest CS_i ($i = \overline{1, N}, i \neq j$); on the basis of which the latter can adjust action of “their” robots R_i , taking into consideration action of robot R_j in order to optimize the achievement of group goals.

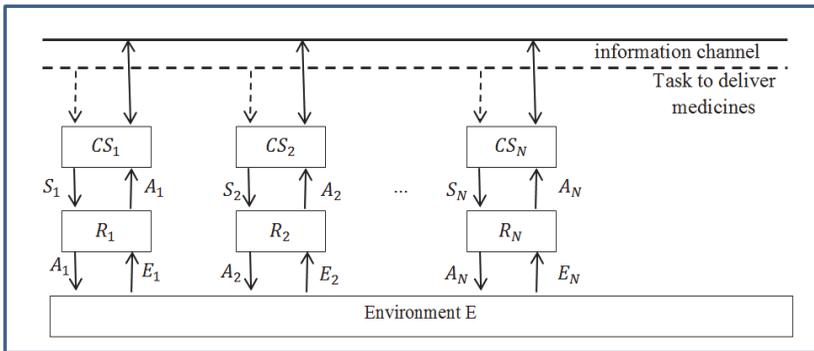


Figure 2 – Distributed system of collective control for robots

Thus, we may refer high reliability and robustness of decentralized GCS to the important advantages due to high possibility of adaptation to the environment - situational changes in system "remotely piloted aircraft system - environment", or to loss (malfunction) of one of the UAVs.

1. Butkovskiy A.G. The theory of optimal control of systems with distributed parameters. - M.: "Nauka", 1965. - 476 p.;
2. Kutakhov V.P., Plyaskota S.I. Informational interaction in large-scale robotic aircraft systems//Proceedings of the X International Conference in 2 volumes, the Institute of Control Sciences named after V.A. Trapeznikov; the Russian Academy of Sciences, 2017 – p. 93-96.
3. Hadad, Meirav; Kraus, Sarit et al. Group planning with time constraints // Annals of mathematics and artificial intelligence, 2013, Vol. 69 P. 243-291.

Р.В. Мещеряков, Д.В. Сенчук
К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва
tyxer2006@gmail.com

В последнее время все чаще в исследованиях технической направленности в научном сообществе рассматривается тема построения эффективной системы управления автономно действующих многокомпонентных беспилотных авиационных систем (БАС), состоящих из различных по своему функциональному назначению аппаратов. Изучение данного вопроса позволит успешно и оперативно решать широкий круг проблем, в случаях ограниченного ресурса времени, сложных метеоусловиях или местах непригодных для жизни человека.

Проектирование системы управления БАС представляет собой сложный технологический процесс. По мнению исследователя, целесообразно уже на этапе разработки сценариев возможного применения БАС определять структурную организацию системы группового управления (СГУР). Рассмотрим некоторые из возможных вариантов.

Централизованная СГУР отличается простотой организации и алгоритмизации группового управления, так как в данном случае вся БАС Θ , состоящая из N роботов, рассматривается как единое целое. Каждый БЛА системы $R_i \in \Theta$ ($i = 1, N$) должен постоянно передавать в ЦУУ данные о своем текущем состоянии R_i , состоянии окружающего его участка внешней среды E_i , то есть информацию о вектор функции $S_i = (R_i, E_i)$. На основе этой информации СГУР в автоматическом режиме или при задействовании оператора решает для всех БЛА задачу формирования действий A_i ($i = 1, N$), направленных на оптимальное достижение групповой цели в текущей ситуации.

Данный вариант построения системы управления БАС в условиях недетерминированной среды и возможных сбоях прохождения сигналов управления от ЦУУ не позволяет обеспечить максимальную вероятность успешного решения практических задач.

С целью нейтрализации выявленных недостатков целесообразно рассмотреть распределенные (децентрализованные) системы группового управления роботами. Примером реализации изучаемой СГУР может служить многокомпонентная БАС состоящая из трех беспилотных летательных аппаратов. Аппараты в группе подразделяются на двух разведчиков и грузовой.

Структура децентрализованной СГУР, реализующей стратегию коллективного управления, приведена на рис. 2. Здесь каждый робот R_j группы обладает своей системой управления $СУ_j$. Эти системы объединены с помощью информационного канала связи, но каждая $СУ_j$ отвечает за выбор действий A_j робота R_j в составе группы. Информация о действии A_j , выбранном $СУ_j$, сообщается всем остальным $СУ_i$ ($i = \overline{1, N}, i \neq j$), на основании чего последние могут скорректировать действия «своих» роботов R_i с учетом действия робота R_j для оптимизации достижения групповой цели.

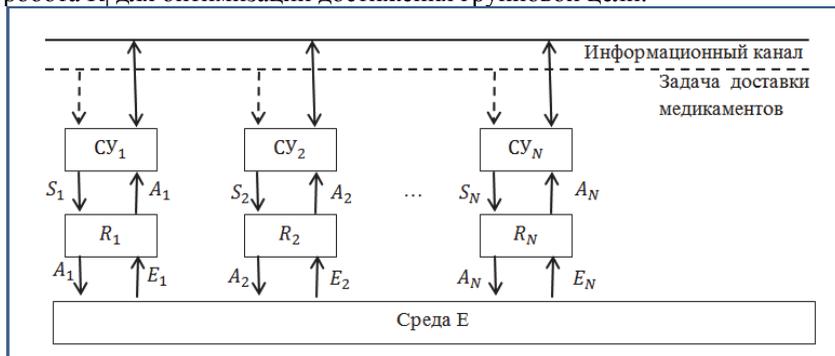


Рисунок 2 – Распределенная система коллективного управления роботами

Таким образом, к важным преимуществам децентрализованных СГУР можно отнести высокую надежность и живучесть, вследствие высокой вероятности приспособления к окружающей среде – изменениям ситуации в системе «беспилотная авиационная система – среда», к потере связи (выходу из строя) одного из беспилотных летательных аппаратов.

1. Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. – М.: Изд-во «Наука», 1965. – 476 С.
2. Кутахов В.П., Пляскота С.И. Информационное взаимодействие в крупномасштабных робототехнических авиационных системах // Материалы Десятой международной конференции: в 2-х томах Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова; Российская академия наук. 2017 – 93-96 С.
3. Hadad, Meirav; Kraus, Sarit et al. Group planning with time constraints // Annals of mathematics and artificial intelligence, 2013, Vol. 69 P. 243-291.

M.L. Kim
**AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF MINE-RESCUE
PARTS BASIS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES**

SUEK JSC, Moscow
kimml@suek.ru

The fastest assistance of the people overtaken by accident in the mine and accident elimination – the main objective of mine-rescue works, the timely, truly made and quickly executed decision according to the analysis of a miner situation on abnormal section can save the people who are in the mine and minimize damage from accident.

During accident elimination there are such situations when mine rescuers owing to the aggressive external environment cannot promote on development for elimination of accident and rescue of people. In this situation for saving of lives of mine rescuers use of robotic means is reasonable. The existing caterpillar or wheel robotic means are slow-moving and are not able in difference from autonomous flying means quickly enough to solve monitoring mine-rescue problems [1].

The structure of an automated information system of mine-rescue parts on the basis of unmanned aerial vehicles which allows to obtain quickly reliable information about an abnormal situation in an excavation after emergence in it different types of accidents is created.

The autonomous movement of the unmanned aerial vehicle is carried out by the developed automatic management system the movement which allows to execute in difficult mine conditions the set route with an adequate accuracy. Post-abnormal mine conditions are characterized by constraint of excavations, the changing geometry of external space, without power supply and lighting, gas contamination, dust content, variable density of air, high temperature, powerful variable air flows.

The automatic control system of the movement of the aircraft on the selected route is structurally monitoring system with the adaptive regulator allowing to react hard to mine perturbations from the variable density of air, temperature and counter air flows [2; 3].

Created mathematical model of an automatic control system the route movement of the aircraft, on the basis of the developed mathematical model of the movement of the quadcopter in which perturbations to the movement were considered passed investigation tests by modeling in software environment of *Simintech* [4] having shown the adequate accuracy of the movement on the set route flight trajectories in excavations from a starting point to the place, admissible on safety, in the mine, necessary hangup and return movement to mine rescuers.

For execution of the main monitoring objective the aircraft is equipped with sensors and a bypass of obstacles, execution of measurements of structure of the miner atmosphere, temperature, existence in abnormal development of people, means of a sensor network for transfer of results of measurements to department of mine rescuers in the mine and to the head of works on localization and recovery from the accident.

The concept of the mine unmanned aerial vehicle on the basis of which technical sentences on development of the aircraft are developed is created and proved, parameters and the instrument equipment sufficient for necessary measurements, conversions and data transmission in the deenergized mine are determined.

Using the unmanned aerial vehicle with the aircraft equipment sufficient for post-abnormal measurement of parameters of the miner atmosphere and data transmission to mine-rescue service significantly reduces risk of danger of conducting mine-rescue works.

1. Kim M.L., Rodichev A.S., Pevzner L.D., Platonov A.K. O vozmozhnosti ispolzovaniia mobilnih robototekhnicheskikh letatelnih apparatov pri vipolnenii operativnogo plana likvidatsii avarii ya shahtah // Ugol'. – 2018. - №1. – С.34-38.
2. Anan'ev P.P., Meshcheryakov R.V., Kosterenko V.N., Kim M.L., Koncevoj A.S. Upravlenie RTK dlya monitoringa i obsledovaniya podzemnyh vyrabotok // Progress transportnyh sredstv i sistemy-2018: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Volgograd, 2018 g. – S. 164-165.
3. Volobuev M.F. Metodika ocenki tochnosti avtomaticheskoy sistemy posadki samoleta v usloviyah vozdeystviya sluchajnyh vozmushchenij / M.A. Zamyslov, S.B. Mihajlenko, S.V. Orlov // Sbornik dokladov XII MNTK «K i VT XXI veka», tom 2. Voronezh, NPF «SAKVOEE», 2011. 878 s.
4. Kartashov B.A., Kozlov O.S., Shabaev E.A., Shchekaturov A.M. Sreda dinamicheskogo modelirovaniya tekhnicheskikh sistem SimInTech, M.: Izd-vo DMK-Press, 2017, 424 s.

М.Л. Ким
**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ НА ОСНОВЕ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*АО «СУЭК», Москва
kimml@suek.ru*

Быстрейшее оказание помощи застигнутым аварией в шахте людям и ликвидация аварии – основная задача горноспасательных работ, своевременное, верно принятое и быстро выполненное решение по анализу рудничной обстановки на аварийном участке может спасти находящихся в шахте людей и свести к минимуму ущерб от аварии.

Во время ликвидации аварий случаются такие ситуации, когда горноспасатели в силу агрессивных внешних условий не могут продвигаться по выработке для ликвидации аварии и спасения людей. В этой ситуации для сохранения жизней горноспасателей целесообразно использование робототехнических средств. Существующие гусеничные или колесные робототехнические средства малоподвижны и не в состоянии в отличии от автономных летательных средств достаточно быстро решать мониторинговые горноспасательные задачи [1].

Создана структура автоматизированной информационной системы горноспасательных частей на основе беспилотных летательных аппаратов, которая позволяет оперативно получать достоверную информацию об аварийной обстановке в горной выработке после возникновения в ней различных видов аварий.

Автономное движение беспилотного летательного аппарата осуществляет разработанная автоматическая система управления движением, которая позволяет выполнить в сложных шахтных условиях заданный маршрут с достаточной точностью. Поставарийные шахтные условия характеризуются стесненностью горных выработок, изменяющейся геометрии внешнего пространства, отсутствием элетроснабжения и освещения, загазованностью, запыленностью, переменной плотностью воздуха, высокой температурой, мощными переменными воздушными потоками.

Система автоматического управления движением летательного аппарата по выбранному маршруту является структурно следящей системой с адаптивным регулятором, позволяющим робастно реагировать на шахтные возмущения от переменной плотности воздуха, температуры и встречных воздушных потоков [2; 3].

Созданная математическая модель системы автоматического управления маршрутным движением летательного аппарата, на основе разработанной математической модели движения квадрокоптера, в

которой были учтены возмущения движению, прошла исследовательские испытания моделированием в программной среде *Simintech* [4], продемонстрировав достаточную точность движения по заданным маршрутным траекториям полета в горных выработках от стартовой точки до допустимого по безопасности места в шахте, необходимого зависания и обратного движения к горноспасателям.

Для выполнения основной мониторинговой задачи летательный аппарат оснащен средствами обнаружения и обхода препятствий, выполнения измерений состава рудничной атмосферы, температуры, наличие в аварийной выработке людей, средствами сенсорной сети для передачи результатов измерений отделению горноспасателей в шахте и руководителю работ по локализации и ликвидации последствий аварии.

Сформирована и обоснована концепция шахтного беспилотного летательного аппарата, на основании которой разработаны технические предложения на разработку летательного аппарата, определены параметры и приборная оснастка, достаточная для необходимых измерений, преобразований и передачи данных в обесточенной шахте.

Использование беспилотного летательного аппарата с бортовым оборудованием, достаточным для поставленного измерения параметров рудничной атмосферы и передачи данных горноспасательной службе существенно снижает риск опасности ведения горноспасательных работ.

1. Ким М.Л., Родичев А.С., Певзнер Л.Д., Платонов А.К. О возможности использования мобильных робототехнических летательных аппаратов при выполнении оперативного плана ликвидации аварии на шахтах // Уголь. – 2018. - №1. – С.34-38.
2. Ананьев П.П., Мещеряков Р.В., Костеренко В.Н., Ким М.Л., Концевой А.С. Управление РТК для мониторинга и обследования подземных выработок // Прогресс транспортных средств и системы-2018: Материалы международной научно-практической конференции. Волгоград, 2018 г. – С. 164-165.
3. Волобуев М.Ф. Методика оценки точности автоматической системы посадки самолета в условиях воздействия случайных возмущений / М.А. Замыслов, С.Б. Михайленко, С.В. Орлов // Сборник докладов XII МНТК «К и ВТ XXI века», том 2. Воронеж, НПФ «САКВОЕЕ», 2011. 878 с.
4. Карташов Б.А., Козлов О.С., Шабаев Е.А., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech, М.: Изд-во ДМК-Пресс, 2017, 424 с.

I.V. Arzhevikin, S.R. Gazitov
**THE RADIO ALTIMETER WITH SWEEP FREQUENCY
MODULATION FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES**

TUSUR, Russia, Tomsk, Russia
ivanruf-1@mail.ru

Now actively unmanned aerial vehicles develop. They find application in the different industries. They are applied in scientific research of an earth magnetic field and other geophysical surveys. For researches of this sort it is required to know position of the UAV in space with a high accuracy.

Being guided by the described need, the radio altimeter radiating a continuous signal with sweep frequency modulation in L-and X-ranges was designed. Such solution allows to measure height both to the Earth's surface, and to an upper edge of vegetation. Range of measurement of heights was from 1 to 100 m, the measurement accuracy of height of 0.5 m.

Radio altimeters are a kind of radar stations (radar station) which as the purpose use the spreading surface.

In the UAV use of altimeters with a continuous radiation of a frequency-shift signal as UAVs are seldom used at big heights is characteristic and the most part of the functionality is carried out at low height.

For obtaining the maximum power of an input signal of the receiver at measurement of height in the developed radio altimeter the most advantageous is vertical radiation.

Use of sweep frequency modulation of an emitted signal gives the chance to design the altimeter with a continuous radiation that allows to reach the high accuracy and resolution capability. Control of height by a frequency method is based on measurement of frequency of emitted fluctuations for propagation time of a signal to the spreading reflective surface and back.

At fixation by a frequency meter of mid frequency of beats of $F_c = FD$ the value of height of H becomes in proportion to beat frequency.

It is possible to measure height on a signal of beats from different accuracy. For the developed altimeter the monitoring measuring instrument of signal frequency of beats was selected as allows to achieve the largest measurement accuracy of height.

И.В. Аржевикин, С.Р. Газитов
**РАДИОВЫСОТОМЕР С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ
МОДУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ**

ТУСУР, Томск
ivanruf-1@mail.ru

В настоящее время активно развиваются беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Они находят применение в различных отраслях. Они применяются в научных исследованиях магнитного поля Земли и других геофизических исследованиях. Для подобного рода исследований требуется знать положение БПЛА в пространстве с высокой точностью.

Руководствуясь описанной необходимостью, был спроектирован радиовысотомер, излучающий непрерывный сигнал с линейной частотной модуляцией в L- и X-диапазонах. Такое решение позволяет измерять высоту как до поверхности земли, так и до верхней кромки растительности. Диапазон измерения высот составил от 1 до 100 м., точность измерения высоты 0,5 м.

Радиовысотомеры являются разновидностью радиолокационных станций (РЛС), которые в качестве цели используют подстилающую поверхность.

В БПЛА характерно использование высотомеров с непрерывным излучением сигнала с частотной модуляцией, так как БПЛА редко используются на больших высотах и большую часть своего функционала выполняют на низкой высоте.

Для получения максимальной мощности входного сигнала приемника при измерении высоты в разработанном радиовысотомере наиболее выигрышным является вертикальное облучение.

Использование линейной частотной модуляции излучаемого сигнала дает возможность спроектировать высотомер с непрерывным излучением, что позволяет достичь высокую точность и разрешающую способность. Контроль высоты частотным методом основывается на измерении частоты излучаемых колебаний за время распространения сигнала до подстилающей отражающей поверхности и обратно.

При фиксировании частотомером средней частоты биений $F_c = FD$ значение высоты H становится пропорционально частоте биений.

Измерять высоту по сигналу биений можно с разной точностью. Для разработанного высотомера был выбран следящий измеритель частоты сигнала биений так как позволяет добиться наибольшей точности измерения высоты.

S.S. Tataurshchikov
**PERSPECTIVE DEVELOPMENTS OF PHOTODETECTORS
BY JSC “NRI ”ELECTRON”**

*JSC “NRI ”Electron”, St. Petersburg
stataur.46@mail.ru*

Future development of photoelectronic devices of JSC “NRI “Electron”, produced on their own production and technological base (vacuum and solid-state), are discussed. The devices feature with a high level of basic characteristics providing leadership in the market. It is reported about new directions of development of new solid-state and hybrid photoelectronic devices, which have the required potential in the creation of modern opto-electronic devices and systems.

C.C. Татаурициков
**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ ФОТОПРИЕМНИКОВ
АО «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОН»**

*АО “ЦНИИ ”Электрон”, Санкт-Петербург
stataur.46@mail.ru*

В данной статье обсуждаются перспективы развития фотоэлектронных устройств АО «ЦНИИ «Электрон», выпускаемых на собственной производственно-технологической базе (вакуумной и твердотельной). Приборы отличаются высоким уровнем базовых характеристик, обеспечивающих лидерство на рынке. Сообщается о новых направлениях развития твердотельных и гибридных фотоэлектронных устройств, обладающих необходимым потенциалом при создании современных оптоэлектронных приборов и систем.

V.V. Voronov
**THE TECHNICAL AND LEGAL ASPECTS OF AERIAL
ROBOTICS SYSTEMS DESIGN AND APPLICATIONS**

*R&D Kronshtadt Group,
«Transportation» branch in “Aeronet” workgroup, Moscow
vladimir.voronov@kronshtadt.ru*

The unmanned aerial systems (UAS) are now most applicable robotics systems. The UAS market forecasts and particularly their civil implementations will demonstrate up to 44% growth during the period till 2027. The market trend shows the service segment of the market will prevail over R&D and production.

Unlike the ground and sea robotic systems the UAS are the subject of the regulation, applicable for manned aviation. Nowadays many countries are investigating the UAS regulation and several national and international programs are under way. The aviation regulation requires from UAS several technical issues for integration in the common airspace. Actually, the avionics assuring the aircraft connectivity, surveillance, separation and collision avoidance is not well adjusted for UAVs. The cybersecurity is a specific problem to be resolved to guarantee the secure UAV flights. The common and control (C2) data link is a necessary technical issue providing UAV flight control and ground pilot communication with air traffic control. The complex of technical and legal issues proving UAS integration in the national airspace is commonly referred as unmanned traffic management (UTM).

V.V. Voronov
**НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ И
ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ВОЗДУШНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ**

*Группа «Кронштадт», рабочая группа «Аэронет»
vladimir.voronov@kronshtadt.ru*

Комплексы с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) являются на сегодняшний день наиболее применяемыми робототехническими системами. Оценка рынка БЛА, в особенности их гражданских применений, показывают рост до 44% в период до 2027 года. Только в России разработкой и производством БЛА занимаются свыше 200 компаний. Тенденции рынка таковы, что на прогнозируемый период наибольшая доля рынка смещается в область эксплуатации и оказания услуг. Причем, среди видов услуг появляется сегмент доставки грузов, а в более отдаленной перспективе перевозки пассажиров («аэротакси»).

Отличие средств воздушной робототехники от других состоит в том, что беспилотные летательные аппараты являются авиационными системами, т.е. используют воздушное пространство и подлежат регулированию всей авиационной отрасли. Нормативные и нормативно-технические акты, такие как «Воздушный кодекс», Федеральные авиационные правила, Федеральные правила использования воздушного пространства применимы к Беспилотным авиационным системам. Однако, специфика БАС требует модернизации нормативно-правовых актов и принятия особого регулирования. В апреле 2018 года постановлением Правительства принят план мероприятий ("дорожную карту") по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации плана мероприятий ("дорожной карты") Национальной технологической инициативы по направлению "Аэронет". Реализация этого плана потребует изменения других нормативно-правовых актов, относящихся к интеграции БАС в общее воздушное пространство. А это в свою очередь потребует создания технических решений, адаптированных под применения БАС, обеспечивающих выполнение требований законодательства.

К таким техническим решениям относятся, в частности, линии связи и управления, системы автоматического зависимого наблюдения, средства предотвращения столкновения в воздухе, станция внешнего пилота, кибернетическая безопасность и другие. В ряде стран в обеспечение гражданских применений беспилотных летательных аппаратов разрабатываются национальные и международные программы и проекты, объединяемые понятием UTM – Unmanned Traffic Management. Аналогичный проект предложен к реализации в Российской Федерации в рамках Дорожной карты Аэронет Национальной технологической инициативы. Группа «Кронштадт» предлагает создать летную лабораторию на базе БЛА большой продолжительности полета для апробации и верификации технических и организационных решений по интеграции беспилотных авиационных систем в общее воздушное пространство

A.S. Lakhmenev
**FUTURE PROFESSION: UNMANNED AVIATION
INTERFACE DESIGNER**

*GC Geoscan, Saint-Petersburg
a.lahmenev@geoscan.aero*

In the atlas of future professions, there is such an amazing profession as: a designer of unmanned aircraft interfaces. He is an expert in the development of interfaces and a software technology package for managing unmanned aerial vehicles, and is responsible for programming and operating systems for providing unmanned aerial vehicles, navigation and security. This profession will appear on the labor market after 2020. But the training of professional personnel is starting today [1].

This specialist will be responsible for programming and operating the support systems, navigation and security of unmanned aerial vehicles.

The report will reflect the main methods of teaching and motivating the younger generation to the new specialty of the future based on the quadcopter Geoscan Pioneer.

Geoscan Pioneer is a multifunctional educational and methodical complex for educational institutions, aircraft models, circles of robotics or self-study [2].

The work of additional modules necessary for solving educational cases will be demonstrated. All educational cases are aimed at solving problems posed directly by leading enterprises of our country.

1. Atlas of new professions. - Moscow: 2014. - 168 p
2. [Electronic resource]. URL: <https://www.geoscan.aero/ru/pioneer/> (access date: 04/20/2019)

А.С. Лахменев
**ПРОФЕССИЯ БУДУЩЕГО: ПРОЕКТИРОВЩИК
ИНТЕРФЕЙСОВ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ**

*ГК Геоскан, Санкт-Петербург
a.lahmenev@geoscan.aero*

В атласе будущих профессий, есть такая удивительная профессия как: проектировщик интерфейсов беспилотной авиации. Это специалист по разработке интерфейсов и программного технологического пакета для управления беспилотными летательными аппаратами, отвечает за программирование и работу систем обеспечения, навигации и безопасности беспилотных летательных аппаратов. Данная профессия появится на рынке труда после 2020 года. Но подготовку профессиональных кадров начинаем уже сегодня [1].

Данный специалист будет отвечать за программирование и работу систем обеспечения, навигацию и безопасность беспилотных летательных аппаратов.

В докладе будет отражены основные приемы при обучении и мотивации подрастающего поколения к новой специальности будущего на основе квадрокоптера Геоскан Пионер.

Геоскан Пионер - это многофункциональный учебно-методический комплекс для образовательных учреждений, авиамodelьных секций, кружков робототехники или самостоятельного изучения [2].

Будет продемонстрирована работа дополнительных модулей, необходимых для решения образовательных кейсов. Все образовательные кейсы направлены на решение задач, поставленные непосредственно ведущими предприятиями нашей страны.

1. Атлас новых профессий. – Москва: 2014. – 168 с.
2. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geoscan.aero/ru/pioneer/> (дата обращения: 20.04.2019)

I.S. Fomin, A.V. Bakhshiev
**USING OF DEEP NETWORKS FOR CLASSIFICATION
OF LOW-RESOLUTION OBJECTS IN INTELLIGENT
VIDEO ANALYSIS SYSTEMS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
i.fomin@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

The work is devoted to the description of the study of the use of convolutional neural networks for the classification of objects detected by the system of intelligent video surveillance. This task is relevant, since the use of neural networks for the classification of objects will allow us to significantly expand the capabilities of the intelligent video surveillance system [1]. Determining the class of an object with sufficient accuracy will allow throw out a significant number of false detections, as well as using information about the class of an object to construct various scenarios for issuing an alarm.

As a platform for building neural networks for the classification of objects, Darknet was chosen [2], which was integrated into the video surveillance system as a dynamic link library. In the process of building the classifier, several variants of learning the architecture of the neural network based on the convolutional layers from VGG-16 [3], with weights previously trained based on ImageNet images, were considered. The influence of the correlation of the training data on the quality of learning and the number of iterations required by the network to achieve maximum quality is considered.

Since construction of a classifier is being considered for use as part of an intelligent video surveillance system, a set of data for training neural networks within a specific task was obtained using this system. System allow us to detect various moving objects in the video from a stationary camera using background accumulation methods and intelligent analysis of a differential image. The images were processed to have a same color order and enlarged to a resolution of 224x224 pixels, which is the standard input resolution of the VGG-16 network. Two different data sets have been prepared, each divided into parts for training and testing.

On the first data set, the accuracy was obtained from 84.9% to 98.3% for various network variants, erroneously classified images are difficult for classification by human either. On the second data set, where both the training and test data sets are significantly larger, it was possible to achieve accuracy from 85% to 95.6% for various correlation options.

Taking into account the fact that the classification is not performed autonomously, but as part of an intelligent video surveillance system that is capable of tracking objects and building a trajectory of their movement, an algorithm is proposed for post-processing the classification results on the entire observation trajectory. This algorithm has improved the accuracy by 1-3% for various test video.

1. Bakhshiev A.V., Mikhailov V.V. Software system for the development of technical vision systems and decision-making with dynamically modified modular architecture / Robotics and technical cybernetics. Vol. 4 (13) / 2016. Ed. RTC, 2016 - С. 38-42.
2. Redmon J. Darknet: Open source neural networks in c. – 2013.
3. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition //arXiv preprint arXiv:1409.1556. – 2014

И.С. Фомин, А.В. Бахшиев

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ
ОБЪЕКТОВ НИЗКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В СИСТЕМАХ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВИДЕО**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
i.fomin@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

Работа посвящена описанию исследования применения сверточных нейронных сетей для классификации объектов, обнаруженных системой интеллектуального видеонаблюдения. Данная задача актуальна, так как применение нейронных сетей для классификации объектов позволит существенно расширить возможности системы интеллектуального видеонаблюдения [1]. Определение класса объекта с достаточной точностью позволит отсеять существенное число ошибок первого рода, а также использовать информацию о классе объекта для построения различных сценариев выдачи сигнала тревоги.

В качестве платформы для построения нейронных сетей для классификации объектов был выбран фреймворк Darknet [2], который был интегрирован в систему видеонаблюдения как динамическая библиотека. В процессе построения классификатора рассмотрены несколько вариантов обучения архитектуры нейронной сети, основанной на сверточных слоях от VGG-16 [3], с весами, предварительно обученными на базе изображений ImageNet. Рассмотрено влияние количества обучаемых слоев на качество обучения и количество итераций, необходимое сети для достижения максимального качества.

Так как рассматривается построение классификатора для применения в составе системы интеллектуального видеонаблюдения, то набор данных для обучения нейронных сетей в рамках конкретной задачи был получен с использованием данной системы. Она позволяет обнаруживать различные подвижные объекты на видео со стационарной камеры с помощью методов накопления фона и интеллектуального анализа разностного изображения. Изображения были обработаны для формирования единого порядка цветов и увеличены до разрешения 224x224 пикселя, которое является стандартным входным разрешением сети VGG-16. Подготовлено два различных набора данных, каждый разделен на части для обучения и тестирования.

На первом наборе данных получена точность от 84,9% до 98,3% для различных вариантов сети, ошибочно классифицированные изображения трудны и для идентификации человеком. На втором наборе данных, где и обучающий и тестовый наборы данных существенно больше, удалось достичь точности от 85% до 95,6% для различных вариантов.

С учетом того факта, что классификация выполняется не автономно, но в составе системы интеллектуального видеонаблюдения, способной осуществлять сопровождение объектов и построение траектории их движения, предложен алгоритм постобработки результатов классификации на всей траектории наблюдения. Данный алгоритм позволил повысить точность на 1-3% для различных тестовых видеозаписей.

1. Бахшиев А.В., Михайлов В.В. Программный комплекс для разработки систем технического зрения и принятия решений с динамически изменяемой модульной архитектурой / Робототехника и техническая кибернетика. №4(13)/2016. Изд. ЦНИИ РТК, 2016 – С. 38-42.
2. Redmon J. Darknet: Open source neural networks in c. – 2013.
3. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition //arXiv preprint arXiv:1409.1556. – 2014

N.S. Filatov, I.S. Fomin, A.V. Bakhshiev
**RESEARCH ON APPLICABILITY OF SMALL NEURAL
NETWORKS USING POWER-LIMITED HARDWARE
IN VIDEO SURVEILLANCE**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
n.filatov@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

The perception of the surrounding space by a mobile robot is often a necessary condition for its proper operation. It is necessary to correctly assess the environment to plan a route or monitor the area of interest and transmit information to the operator. One of the most accessible and effective ways to obtain information about the surrounding space is the use of video sensors. Computer vision, as the science of creating machines that can detect, track and classify objects, allows the robot to evaluate the environment. In connection with the development of computing hardware, the use of deep neural networks for the tasks of detection, classification and segmentation of objects has gained considerable popularity.

However, such machine learning models require a lot of memory and computational power, which makes it difficult to use them in embedded systems. Therefore, the creation of lightweight versions of neural networks which will require fewer resources is an actual task. Creating neural networks of small size allows them to be embedded in systems with a small memory size. An equally important aspect for a mobile robot is the speed of processing, some implementations of small neural networks and methods of their compression also reduce the computational complexity, and thus decrease the delay in the system.

In addition to the use of small and fast neural networks in the vision systems of a mobile robot in the tasks of scene analysis, navigation and decision making, the task of analyzing a video stream from a stationary camera in order to protect a certain perimeter is also relevant. Such tasks are traditionally based on motion detection based on a background and foreground model [1]. This approach allows you to efficiently detect and track moving objects, but does not allow the classification of objects.

To solve the classification problem, both traditional methods based on the analysis of the metrics of motion of detected objects, and methods of machine learning, including deep neural networks are used [2]. Since video surveillance tasks usually require processing information from multiple cameras, it is of particular interest to use small neural networks to solve the classification problem in order to save computational resources.

The paper presents an analytical review of high-performance neural network architectures designed for image classification, such as SqueezeNet [3] and Mobilenets [4]. A review of neural network compression methods was also conducted. For the considered neural networks, a comparison was made with larger models in terms of accuracy and speed in the video surveillance problem.

1. Verma G., Gautam S., Agarwal R., Saxena S., Verma D. Implementation of Smart Video Surveillance System Using Motion Detection Technique // Sensors and Image Processing. Advances in Intelligent Systems and Computing / eds. Urooj S., Virmani J. 2018. V. 651.
2. C. Kim, J. Lee, T. Han, and Y. M. Kim, "A hybrid framework combining background subtraction and deep neural networks for rapid person detection," J. Big Data, vol. 5, no. 1, 2018.
3. Forrest N. Iandola, Song Han, Matthew W. Moskewicz, Khalid Ashrafi, William J. Dally, Kurt Keutzer. squeezeNet: alexnet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5 mb model size // ArXiv.org, DeepScale & UC Berkeley, Stanford University 2016. Available: <https://arxiv.org/pdf/1602.07360.pdf>.
4. Andrew G. Howard Menglong Zhu Bo Chen Dmitry Kalenichenko Weijun Wang Tobias Weyand Marco Andreetto Hartwig Adam. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications // ArXiv.org, Google Inc 2017. Available: <https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf>.

Н.С. Филатов, И.С. Фомин, А.В. Бахшиев
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ СВЕРХМАЛЫХ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА МАЛОМОЩНЫХ ПЛАТФОРМАХ
В ЗАДАЧЕ ВИДЕОАНАЛИТИКИ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
n.filatov@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

Восприятие мобильным роботом окружающего пространства часто является необходимым условием его правильной работы. Необходимо верно оценить окружающую обстановку для построения маршрута движения или произвести мониторинг области интереса и передать информацию оператору. Одним из наиболее доступных и эффективных способов получения информации об окружающем пространстве является использование видеосенсоров. Техническое зрение, как наука создания машин, которые могут производить

обнаружение, отслеживание и классификацию объектов, позволяет роботу оценить окружающую среду. В связи с развитием вычислительной техники значительную популярность приобрело применение глубоких нейронных сетей для задач детектирования, классификации и сегментации объектов.

Однако такие модели машинного обучения требуют много памяти и вычислительной мощности, что затрудняет их применение во встраиваемых системах. Поэтому создание облегченных вариантов нейронных сетей, которые будут требовать меньше ресурсов, является актуальной задачей. Создание нейронных сетей малого размера позволяет встраивать их в системы с малым размером памяти. Не менее важным аспектом для мобильного робота является скорость обработки информации, некоторые реализации маленьких нейронных сетей и методы их обработки позволяют также снизить вычислительную сложность, а значит увеличить быстродействие системы.

Помимо применения малых и быстрых нейронных сетей в системах технического зрения мобильного робота в задачах анализа сцен, навигации и принятия решения, актуальной является также задача анализа видеопотока со стационарной камеры с целью охраны некоторого периметра. Такого рода задачи традиционно основываются на обнаружении движения на базе модели фона и переднего плана [1]. Такой подход позволяет эффективно обнаруживать и сопровождать движущиеся объекты, но не позволяет обеспечить их классификацию. Для решения задачи классификации применяют как традиционные методы, основанные на анализе метрик движения обнаруженных объектов, так и методы машинного обучения, в том числе глубокие нейронные сети [2]. Поскольку в задачах видеоаналитики обычно требуется обрабатывать информацию со множества камер, то особый интерес вызывает применение именно сверхмалых нейронных сетей для решения задачи классификации с целью экономии вычислительных ресурсов.

В работе представлен аналитический обзор высокопроизводительных архитектур нейронных сетей, предназначенных для классификации объектов на изображениях, таких как SqueezeNet[3] и Mobilenets[4]. Также проведен обзор методов сжатия нейронных сетей. Для рассмотренных нейронных сетей было

проведено сравнение с более крупными моделями по показателям точности и быстродействия в рамках задачи видеоаналитики.

1. Verma G., Gautam S., Agarwal R., Saxena S., Verma D. Implementation of Smart Video Surveillance System Using Motion Detection Technique // Sensors and Image Processing. Advances in Intelligent Systems and Computing / eds. Urooj S., Virmani J. 2018. V. 651
2. C. Kim, J. Lee, T. Han, and Y. M. Kim, "A hybrid framework combining background subtraction and deep neural networks for rapid person detection," J. Big Data, vol. 5, no. 1, 2018.
3. Forrest N. Iandola, Song Han, Matthew W. Moskewicz1, Khalid Ashraf1, William J. Dally, Kurt Keutzer. squeezeNet: alexnet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5 mb model size // ArXiv.org, DeepScale & UC Berkeley, Stanford University 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1602.07360.pdf> (Дата обращения: 01.10.2018).
4. Andrew G. Howard Menglong Zhu Bo Chen Dmitry Kalenichenko Weijun Wang Tobias Weyand Marco Andreetto Hartwig Adam. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications // ArXiv.org, Google Inc 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf> (Дата обращения: 01.10.2018).

O.O. Shumskaya¹, A.O. Iskhakova², A.Y. Iskhakov³
**MASKING OF OPERATING SIGNALS OF AGENTS IN MOBILE
ROBOTIC GROUPS WITH NETWORK-CENTRIC MANAGEMENT**

¹ *SPIIRAS, Saint-Petersburg, shumskaya.oo@gmail.com*

² *ICS RAS, Moscow; TUSUR, Tomsk, Russia, iao@ipu.ru*

³ *ICS RAS, Moscow, iay@ipu.ru*

Within the research the relevant problem of creation of new multi-agent robotic complexes with protected network-centric control system is considered. Process of operating signals transfer and tasks of their concealment from third-party objects and possible means of investigation are considered. The approach for operating signals masking, directed to formation of mechanisms of protected interaction between agents of a robotic system and based on the steganographic methods application for concealment of operating signals, is offered.

The initial task is understood as performance of some operation with robotic group involvement. Concealment of the fact of land robots group existence is represented important. As a rule, video filming is result of remote investigation, an attempt of operating signals concealment in a digital video stream with application of steganographic methods is made. A Digital Watermark (DW) can be placed as over an object, and into a video stream, which is the sequence of digital images. Embedding into image's frequency domain allows to achieve resistance to a number of attacks due to the properties irrespective of an embedding algorithm.

Identification process of DW existence in a stego-container is carried out by means of correlation calculation between the estimated watermark and the image in which, perhaps, DW is hidden [1]. Excess of the threshold means that required DW is built in the image.

The offered approach includes algorithms of signal transformation to DW, embedding of DW and check of its existence.

Calculation of DW's values is performed according to the formula:

$$W(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{if } R_{\max} < r < R_{\min} \\ 1, & \text{if } R_{\min} < r < R_{\max} \end{cases}, \quad (1)$$

where R_{\min} , R_{\max} – borders of ring area, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

As an embedding method the multiplicative way was chosen. When embedding new amplitude values are calculated by the formula (2):

$$M'(x, y) = M(x, y) + a \cdot M(x, y)W(x, y) \quad (2)$$

where $M(x, y)$ – an initial amplitude value of DFT-coefficient with coordinates x, y .

Verification of DW and masked operating signal by recipient is made by application of the discrete Fourier transformation (matrix F') and calculation of quantity of positive and negative elements. Then the calculated correlation is compared to the established threshold for decision-making.

In robotics an effective solution of many tasks can be reached only in group interaction of robots. The offered approach allows to suppress the fact of operated signals transfer by agents of such systems. Advantage of the approach is the lack of need of absolutely correct extraction of the built-in data [2], unlike methods of the cryptography and the classical steganography. The offered approach can be used for formation of the protected mechanisms of intermachine data exchange between agents in group robotic systems.

The research study was partially funded by RFBR according to the research project № 19-01-00767.

1. Shumskaya, O.O., Budkov, V.Yu. Comparative research of classification methods in the stegoanalysis of digital images. Scientific Bulletin of NSTU. 3(72), 121-134 (2018) (in Russian)
2. Shumskaya, O.O., Zelezny, M. Adaptive algorithm of information embedding into compressed JPEG-images based on replacement operation. Information and Control Systems. 5, 44-56 (2018) (in Russian)

О.О. Шумская¹, А.О. Исакова², А.Ю. Исаков³

**МАСКИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ АГЕНТОВ
В МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ГРУППАХ
С СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ**

¹ СПИИРАН, Санкт-Петербург, shumskaya.oo@gmail.com

² ИПУ РАН, Москва; ТУСУР, г. Томск, iao@ipu.ru

³ ИПУ РАН, Москва, iauy@ipu.ru

В рамках исследования авторами рассматривается задача создания новых многоагентных роботизированных комплексов с защищенной сетецентрической системой управления. Рассматривается процесс передачи управляющих сигналов и их сокрытия от сторонних объектов и возможных средств разведки и предлагается подход для

маскирования управляющих сигналов, направленный на формирование механизмов защищенного взаимодействия между агентами робототехнической системы, основанный на применении стеганографических методов для сокрытия управляющих сигналов.

Под исходной задачей понимается выполнение некоторой операции с привлечением робототехнической группы. Важным представляется сокрытие факта наличия группировки наземных роботов. Так как результатом дистанционной разведки как правило является видеосъемка, предпринята попытка сокрытия управляющих сигналов в цифровом видеопотоке с применением методов стеганографии. Цифровой водяной знак (ЦВЗ) можно разместить поверх объекта или скрыть в видеопоток. Встраивание в частотную область изображения позволяет добиться устойчивости к ряду атак за счёт своих свойств независимо от алгоритма встраивания.

Процесс выявления наличия ЦВЗ в стегоконтейнере осуществляется с помощью вычисления корреляции между предполагаемым водяным знаком и изображением, в котором, возможно, скрыт ЦВЗ [1]. Превышение некоего порогового означает, что в изображение встроены искомым ЦВЗ.

Предлагаемый подход включает алгоритмы преобразования сигнала в ЦВЗ, внедрения ЦВЗ и проверку его наличия.

Расчет значений ЦВЗ осуществляется согласно формуле:

$$W(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{если } R_{\max} < r < R_{\min} \\ 1, & \text{если } R_{\min} < r < R_{\max} \end{cases}, \quad (1)$$

где R_{\min} и R_{\max} - границы кольцевой области, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

В качестве способа встраивания был выбран мультипликативный способ. При встраивании новые амплитудные значения рассчитываются по формуле (2):

$$M'(x, y) = M(x, y) + a \cdot M(x, y)W(x, y) \quad (2)$$

где $M(x, y)$ – исходное амплитудное значение коэффициента ДПФ с координатами x, y .

Проверка наличия ЦВЗ и маскированного управляющего сигнала получателем производится путем применения дискретное преобразование Фурье (матрица F') и расчета количества

положительных и отрицательных элементов, после чего рассчитываемая корреляция сравнивается с установленным пороговым значением для принятия решения.

В робототехнике эффективного решения многих задач возможно достичь только при групповом взаимодействии роботов. Предложенный подход позволяет скрыть факт передачи управляемых сигналов агентами таких систем. Преимуществом подхода является отсутствие необходимости абсолютно корректного извлечения встроенных данных [2, в отличие от методов криптографии и классической стеганографии. Предложенный подход может быть использован для формирования защищенных механизмов межмашинного обмена данными между агентами в групповых робототехнических системах.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00767.

1. Шумская О.О., Будков В.Ю. Сравнительное исследование методов классификации в стегоанализе цифровых изображений // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 3 (72). – С. 121–134.
2. Шумская О.О., Железны М. Адаптивный алгоритм встраивания информации в сжатые JPEG-изображения на основе операции замены // Информационно-управляющие системы. – 2018. – № 5. – С. 44-56.

SPACE ROBOTICS / КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА

***A.V. Yaskевич, I.E. Chernyshev, Y.V. Rasskazov* DOCKING MECHANISM FOR INTERNATIONAL SPACE PROGRAMS**

*PAO "RSC "Energia", Korolev, Russia
post@rsce.ru*

Spacecraft docking is a controlled on-orbit mechanical assembly process realized using active and passive docking units. The docking mechanism of the active unit provides capture conditions, attenuation of active spacecraft approach energy, alignment and retraction of the docking units before their hard connection [1].

Up to now, several docking systems have been developed under the International Docking System Standard (IDSS) [2] by national space agencies and private companies. Docking mechanisms of these systems are based on different design and control principles. Thus a new peripheral docking mechanism, with more simple kinematics and design than that used in previous APAS docking unit, has been developed by Rocket Space Corporation 'Energia' [3]. An accumulation of spacecraft approach kinetic energy instead of traditional damping is used in this mechanism.

Active spacecraft approach kinetic energy is accumulated by using springs with controlled recoil blocking. The blocking is activated before docking and keeps the docking mechanism in its initial position. On the first contact signal, the blocking is switched off releasing the energy of compressed springs for quick forward moving of the docking ring and improving capture. The blocking is activated again after capture and approach energy is accumulated by the springs without returning to the mechanical system. Spacecrafts are aligned and retracted by using specialized rope device of docking mechanism after their relative velocities are reduced to zero. Some features of spacecraft docking dynamic process with the use of this mechanism are considered in this paper.

1. V.S. Syromiatnikov Spacecraft docking assemblies. – Moscow, Mashinostroenie, 1984.
2. International Docking System Standard (IDSS) Interface Definition Document (IDD). URL: <http://internationaldockingstandard.com>. Дата обращения 19.09.2018.
3. A.V. Yaskевич, V.N. Pavlov, I.E. Chernyshev, Y.V. Rasskazov, G.A. Zemtsov, A.A. Karpenko The peripheral docking mechanism – Patent RU №2657623.

А.В. Яскевич, И.Е. Чернышев, Я.В. Рассказов
СТЫКОВОЧНЫЙ МЕХАНИЗМ ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

ПАО «РКК «Энергия», г. Королёв
post@rsce.ru

Стыковка космических аппаратов (КА) является управляемым механическим процессом их сборки на орбите с использованием активного и пассивного стыковочных агрегатов (СтА). Стыковочный механизм (СтМ) активного СтА обеспечивает условия для сцепки, поглощение энергии сближения активного КА, выравнивание и стягивание СтА для их окончательного жесткого соединения [1].

На основе Международного стандарта систем стыковки IDSS [2] национальными космическими агентствами и частными компаниями разработано несколько вариантов СтА. Стыковочные механизмы, входящие в их состав, основаны на различных принципах струирования и управления. В РКК «Энергия» для перспективных международных космических программ разрабатывается проект нового СтМ [3] с более простой кинематикой и конструкцией, чем в предшествующем СтА АПАС-89/95, послужившего основой IDSS. В новом механизме используется накопление кинетической энергии сближения активного КА вместо традиционного демпфирования.

Энергия сближения накапливается в пружинах с управляемой блокировкой их отдачи. Перед стыковкой блокировка включена и удерживает СтМ в исходном положении. Она выключается при появлении сигнала первого контакта СтА, освобождая энергию сжатых пружин для быстрого выдвижения кольца вперед и улучшения сцепки. После сцепки блокировка вновь включается, и энергия сближения накапливается в этих пружинах без возврата в механическую систему. Космические корабли выравниваются и стягиваются специальным тросовым устройством стыковочного механизма после того как их относительные скорости становятся равными нулю. В докладе рассматриваются некоторые особенности динамики стыковки при использовании нового СтМ.

1. Сыромятников В.С. Стыковочные устройства космических аппаратов. - М.: Машиностроение. 1984. – 216 с.
2. International Docking System Standard (IDSS) Interface Definition Document (IDD). URL: <http://internationaldockingstandard.com>. Дата обращения 19.09.2018.
3. Яскевич А.В., Павлов В.Н. и др. Периферийный стыковочный механизм – Патент РФ №2657623.

M.V. Mikhailyuk¹, B.I. Kryuchkov², V.M. Usov^{2,3}

**VIRTUAL REALITY TOOLS FOR COMPUTER MODELING OF A
COSMONAUT'S INTERACTION WITH A GROUP OF
AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS ON THE LUNAR SURFACE**

- ¹ *Federal State Institution "Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences", Moscow, mix@niisi.ras.ru*
- ² *Federal State Budgetary Institution "Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center", Moscow region, Star City, bik43@mail.ru*
- ³ *State Research Center of the Russian Federation - Institute for Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, khoper.1946@gmail.com*

The ergonomic design and the ergonomic lab testing of Human-Robot Interaction (HRI) can be performed using the research simulation complexes (RSCs), based on Virtual Reality (VR) technologies. With regard to the historical continuity of technologies for the design the robotics complexes, it is necessary to take into account the previous experience of creating spacecraft control simulators for Human Operator (HO) training for manned flights. For realistic modeling HRI in lab experiments one needs technologies for immersing HO in a virtual environment (VE) by using VR-tools.

The RSC modules for robot control in distant mode may interoperate as shown in Fig. 1.

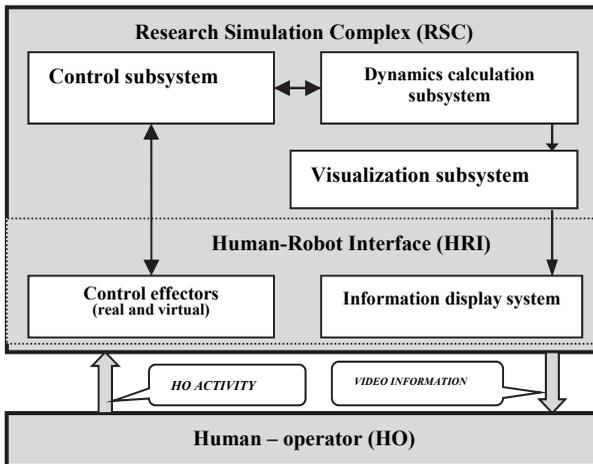


Figure 1 – The structure of the simulation complex to control a robot-manipulator

There are examples of modeling HRI in recent publications [2-4]. The model for anthropomorphic robot's control in manned flights deals in [2]. The Space Experiment ("Kontur-2") for study the remote control lunar based robots from the ISS board presented in [3]. The new VR-tools for the development of a prototype of a robot-manipulator for EVA proposed in [4].

At the same time, we can state, that in common the interaction of HO with a heterogeneous group of ground-based Autonomous Mobile Robots (AMRs) for today studied insufficiently. The article deals with the issues of VR-modeling to improve situational awareness (SA) of HO based on visual feedback. The proposed VR-tools allow for improve SA in via: 1) 3D visual representation of the AMRs group; 2) display of digital data from simulated VR-sensors of on-Board AMR systems; 3) electronic maps of areas; 4) graphical representation of situations of potential conflicts of AMRs, based on the exchange of messages of virtual agents ("proxy agents") in the "virtual intellectual environment" (VIE) [5].

1. Mikhailyuk M.V., Bragin V.I. Virtual reality technologies in simulation and training complexes for cosmonauts. // *Manned Spaceflight*. 2013. No. 2(7). P.82-93. (In Russian).
2. Sokhin I.G., Kuritsyn A.A., Usov V.M. The problems crews' interaction with anthropomorphic robots-assistants in the future space missions. // *The Human factor in complex technical systems and environments: ERGO 2018*. 3rd International conference proceedings. 4-7 July 2018. St. Petersburg.: "LETI" edition. (789 p.) P. 782-289. (In Russian).
3. Zaborovsky V.S., Kondratyev A.S., Filonenko A.V., Mulyukha V.A., Ilyashenko A.S., Filippov M.S. Remote control of robotic objects in space experiments of the Contour series. // *Scientific and technical sheets of SPb SPU. Informatics. Telecommunications. Management*. 2012. №6 (162). P. 23-32. (In Russian).
4. Sergeev A.V., Guk M. Yu. Control of a space mobile robot using virtual reality and force-moment perception. // *Manned Spaceflight*. 2018. Issue.4. P. 44-52. (In Russian).
5. Kryuchkov B.I., Usov V.M., Ivanko D.V. Prospects of using intelligent spaces for operators information support during remote monitoring of a group of mobile robots on the lunar surface // *Information technologies in the management. ITU-2018 Conference proceedings*. SPb.: JSC "Concern" CNII "Electropribor", 2018. (742 p.) P.678-687. (In Russian).

М.В. Михайлюк¹, Б.И. Крючков², В.М. Усов^{2,3}
**ИНСТРУМЕНТЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
КОСМОНАВТА С ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ
РОБОТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ**

¹ ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований РАН», Москва, *mix@niisi.ras.ru*

² ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок, *bik43@mail.ru*

³ ФГБУН «Государственный научный центр РФ - институт медико-биологических проблем РАН», Москва, *khoper.1946@gmail.com*

Задачи эргономического проектирования и эргономических тестов взаимодействия человек-робот (англ.: Human Robot Interaction – HRI) могут выполняться с использованием исследовательских моделирующих комплексов (ИМК), основанных на технологиях виртуальной реальности (VR-технологиях). Что касается исторической преемственности технологий проектирования для робототехнических комплексов такого рода, то следует учитывать предыдущий опыт создания тренажеров управления космическими аппаратами для подготовки человека-оператора (ЧО) к пилотируемым полетам.

Для реалистичного моделирования в лабораторных экспериментах необходимы технологии погружения ЧО в виртуальную среду (англ.: virtual environment – VE) путем применения VR-инструментов.

Модули ИМК для управления роботом в удаленном режиме могут взаимодействовать, как показано на рис. 1.

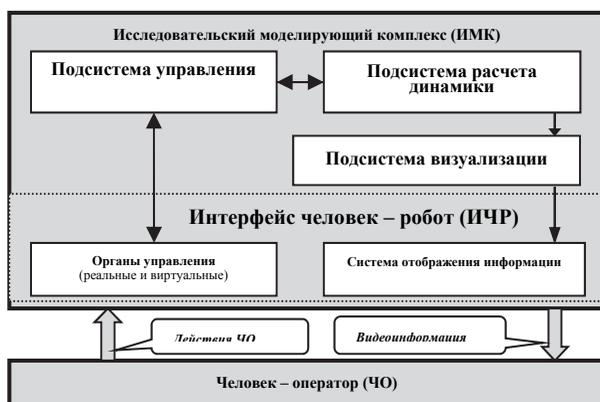


Рисунок 1 – Структура ИМК для управления роботом-манипулятором

В недавних публикациях приведены примеры моделирования интерфейсов «человек-робот» [2-4]. Модель антропоморфного робота представлена в работе [2]. Космический эксперимент («Контур-2») по изучению дистанционного управления наземными роботами с борта МКС рассмотрен в работе [3]. Новые VR-инструменты для разработки прототипа робота-манипулятора предложены в [4]. В то же время можно констатировать, что в целом взаимодействие ЧО с неоднородной группой автономных мобильных роботов (АМР) на сегодняшний день изучено недостаточно. В статье рассматриваются вопросы VR-моделирования для улучшения ситуационной осведомленности (СтО) ЧО посредством отображения: 1) визуального представления перемещений группы АМР в формате 3D; 2) символично-цифровых данных с имитируемых виртуальных датчиков бортовых систем АМР; 3) электронных карт местности; 4) графового представления ситуаций потенциальных конфликтов в группе АМР, основанного на анализе обмена сообщениями виртуальных двойников АМР (прокси-агентов) в «виртуальной интеллектуальной среде» (VIE) [5].

1. Михайлюк М.В., Брагин В.И. Технологии виртуальной реальности в имитационно-тренажерных комплексах подготовки космонавтов. // Пилотируемые полеты в космос. 2013. № 2 (7). С. 82-93.
2. Сохин И.Г., Курицын А.А., Усов В.М. Проблемы взаимодействия экипажей перспективных космических миссий с антропоморфными роботами-помощниками // Человеческий фактор в сложных технических системах и средах: ЭРГО 2018. Сб. трудов. III Междунар. конф. ЭРГО 2018 Санкт-Петербург. 4-7 июля 2018 г. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». (789 с.) С.782-289.
3. Заборовский В.С. Кондратьев А.С., Силиненко А.В., Мулюха В.А. и др. Удаленное управление робототехническими объектами в космических экспериментах серии «Контур». // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2012. №6(162). С.23-32.
4. Сергеев А.В., Гук М.Ю. Управление мобильным роботом космического назначения с применением виртуальной реальности и силомоментного оцувствления. // Пилотируемые полеты в космос. 2018. Вып.4. С.44-52.
5. Крючков Б.И., Усов В.М., Иванько Д.В. Перспективы использования интеллектуальных пространств для информационной поддержки оператора при дистанционном мониторинге группы мобильных роботов на лунной поверхности. // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2018). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018. (742 с.) С.678-687.

V.N. Dmitriev, B.V. Burdin, V.A. Dovzhenko, Yu.S. Chebotarev
**APPLICATION OF SPACE ROBOTIC SYSTEMS TO SUPPORT
COSMONAUTS' ACTIVITY FOR THE IMPLEMENTATION
OF EXISTING AND FUTURE SPACE PROGRAMS**

*FSBO "Gagrin R&T CTC", Star City, Russia
V.Dmitriev@gctc.ru, B.Burdin@gctc.ru,
V.Dovzhenko@gctc.ru, Y.Chebotarev@gctc.ru*

Future projects in the sphere of manned space exploration presuppose the expansion in the application of space robotic systems (SRSs) as a result of the increased complexity of crews' activities aboard manned space complexes (MSCs) and volume of labour-intensive assembly-recovery works and routine operations performed by cosmonauts aboard MSCs as well as the heightened risks of dangerous situations for human life and health during near and deep space missions. In this regard, the use of SRSs as a high-tech toolkit of a cosmonaut when performing IVA and EVA as well as on-planet operations during future lunar and Martian missions is of particular interest. Special attention is paid to the creation and use of anthropomorphous robotic systems (ARSs).

The paper considers the issues of the use of space dedicated robotic systems (SRS KN) [1-4] and shows the role and place of anthropomorphous SRSs as the high-tech service systems used to support cosmonauts' activities when implementing future space programs [5,6]. Also, the construction principles and application prospects of the versatile computer stand of the SRS, created at FSBO "Gagarin R&T CTC" using virtual reality technologies and means of controlling motor and behavioral activity of a cosmonaut-operator [7] for purposes of cosmonaut training, perfection of their skills of controlling various space robotic systems as well as the performance of ergonomic and psycho-physiological research in the course of creating promising SRS KN are examined in the paper [8,9].

1. Kryuchkov B.I., Usov V.M., Yaropolov V.I., Sosyurka Yu.B., Troitskiy S.S., Dolgov P.P. On the features of professional activity of cosmonauts when implementing Lunar missions // Scientific journal "Manned Spaceflight" 2016. No 2 (19). pp. 35-58.
2. NASA // NASA: official website. Available at: <http://www.nasa.gov/>, accessed 12.11.2016.
3. E. Kaupp, E. Bains, R. Flores, G. Jorgensen, Y.M. Kuo, H. White Shuttle Robotic Arm // Engineering Innovations / P. 286 -- 301. Available at: http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/584734main_Wings-ch4h-pgs286-301.pdf, accessed 12.11.2016.
4. The role of dexterous robotics in ongoing maintenance of the ISS / Lyndsey Poynter, P. Andrew Keenan // IAC-12,B3,4-B6.5,6,x16014

5. Karpov A.A., Kryuchkov B.I., Rogatkin D.A., Usov V.M. [Conceptual Strategy for Using Service Robots: Common Problems of Implementation (On the Example of Manned Space Exploration and High-Tech)]. Biotekhnosfera – [Biotechnosphere]. 2013. No.6. pp. 48-59.
6. Lonchakov Yu.V., Sivolap V.A., Sokhin I.G., Sorokin I.G., Burdin B.V. Ergonomic research of interaction between cosmonauts and robot assistants. // Ideas of K.E. Tsiolkovskiy in scientific and technical innovations / Proceedings of the 51st Tsiolkovskiy Scientific Readings – Kaluga. 2016 – 496p. ISBN 978-5-905849-46-6.
7. Burdin B.V., Mihayluk M.V., Sokhin I.G., Torgashev M.A. The use of virtual 3D models for experimental testing of the flight operations performed by means of anthropomorphic robots // Robotics and Technical Cybernetics, No 1. 2013, ISSN 2310-5305 – pp. 42-46.
8. Burdin B.V., Dovzhenko V.A., The Development of stands with VR-elements for ergonomic research of the «Operator – RS - Professional Environment» system // The ideas of K.E. Tsiolkovskiy in scientific and technical innovations / Proceeding of the 51 st Tsiolkovsky Scientific Readings – Kaluga. 2016 – 496 p
9. Sokhin I.G., Dovzhenko V.A., Burdin B.V., Grebenshikov A.V., Solvyova I.B. and others. Experimental ergonomic studies of an anthropomorphic robotic system controlled by cosmonauts while maintaining spacecraft and lunar infrastructure facilities. // Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference “Manned Space Flights”, November 10–12, 2015. – Gagarin Test& Research CTC, Star City, Moscow Region, 2015. pp. 31-33.

В.Н. Дмитриев, Б.В. Бурдин, В.А. Довженко, Ю.С. Чеботарев
ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
КОСМОНАВТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ И
ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок
V.Dmitriev@gctc.ru, B.Burdin@gctc.ru,
V.Dovzhenko@gctc.ru, Y.Chebotarev@gctc.ru

Перспективные проекты в области пилотируемой космонавтики предполагают расширение области применения космических робототехнических систем (РТС), что обусловлено усложнением деятельности экипажей пилотируемых космических комплексов (ПКК), увеличением объемов трудоемких монтажно-восстановительных работ и рутинных операций космонавтов на борту ПКК, а также возрастанием рисков возникновения опасных ситуаций

для жизни и здоровья членов экипажа ПКК в космических полетах в ближнем и дальнем космосе. В этой связи особый интерес представляет использование РТС в качестве высокотехнологичного инструментария космонавта при осуществлении внутрикорабельной и внекорабельной деятельности на ПКК, а в перспективе – и при выполнении напланетной деятельности в лунных миссиях и миссиях по освоению Марса. Особое внимание уделяется созданию и использованию антропоморфных робототехнических систем (АРТС).

В статье рассматриваются вопросы применения РТС космического назначения (РТС КН) [1-4], показана роль и место РТС антропоморфного типа как высокотехнологичных сервисных систем, используемых для поддержки деятельности космонавтов при реализации перспективных космических программ [5,6]. Рассмотрены принципы построения и перспективы использования универсального компьютерного стенда РТС, созданного в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина на основе применения технологий виртуальной реальности и средств контроля двигательной и поведенческой активности космонавта-оператора [7] в целях подготовки космонавтов, отработки ими навыков управления различными РТС космического назначения, а также проведения эргономических и психофизиологических исследований в процессе создания перспективных РТС КН [8,9].

1. Крючков Б.И., Усов В.М., Ярополов В.И., Сосюрка Ю.Б., Троицкий С.С., Долгов П.П. Об особенностях профессиональной деятельности космонавтов при осуществлении лунных миссий // Пилотируемые полеты в космос 2016. № 2 (19). С. 35-58.
2. NASA // NASA: official website. Available at: <http://www.nasa.gov/>, accessed 12.11.2016.
3. E. Kaupp, E. Bains, R. Flores, G. Jorgensen, Y.M. Kuo, H. White Shuttle Robotic Arm // Engineering Innovations / P. 286 -- 301. Available at: http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/584734main_Wings-ch4h-pgs286-301.pdf, accessed 12.11.2016.
4. The role of dexterous robotics in ongoing maintenance of the ISS / Lyndsey Poynter, P. Andrew Keenan // IAC-12,B3,4-B6.5,6,x16014
5. Карпов А.А., Крючков Б.И., Рогаткин Д.А., Усов В.М. Концептуальные подходы к применению сервисных роботов: общность проблем внедрения (на примерах пилотируемой космонавтики и высокотехнологической медицины) // Биотехносфера. 2013. № 6. С. 48-59.
6. Лончаков Ю.В., Сиволап В.А., Сохин И.Г., Сорокин И.Г., Бурдин Б.В.. Эргономические исследования взаимодействия космонавтов

- с антропоморфными роботами помощниками. // Идеи К.Э. Циолковского в инновациях науки и техники / Материалы 51-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского – Калуга. 2016 – Калуга. 2016 – 496с. ISBN 978-5-905849-46-6.
7. Бурдин Б.В., Михайлюк М.В., Сохин И.Г., Торгашев М.А. Использование виртуальных 3D – моделей для экспериментальной отработки бортовых полетных операций, выполняемых с помощью антропоморфных роботов. // Робототехника и техническая кибернетика №1. 2013, ISSN 2310-5305 – С. 42-46.
 8. Бурдин Б.В., Довженко В.А. Разработка стендов с элементами виртуальной реальности для проведения эргономических исследований системы «Оператор - РТС - профессиональная среда деятельности» // Идеи К.Э. Циолковского в инновациях науки и техники / Материалы 51-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского – Калуга. 2016 – 496с. ISBN 978-5-905849-46-6.
 9. Сохин И.Г., Довженко В.А., Бурдин Б.В., Гребенщиков А.В., Соловьева И.Б. и др. Экспериментальные эргономические исследования процессов дистанционного управления антропоморфной робототехнической системой космонавтами при проведении операций обслуживания КА и объектов лунной инфраструктуры // Материалы XI МНПК «Пилотируемые полеты в космос» 10–12 ноября 2015 г. – Звездный городок МО, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», 2015. С.31-33.

J.S. Bodrova, G.F. Karabadzhak, K.G. Raykunov
**SPACE ROBOTICS MOBILE VEHICLE PLATFORMS, THEIR
PRIORITY TASKS AND POTENTIAL USAGE SCENARIOS
TO SUPPORT RUSSIAN MANNED MOON
EXPLORATION PROGRAM**

*State Space Corporation Roscosmos, Central Research
Institute of Machine Building, Korolev, Russia
RaykunovKG@tsniimash.ru*

Abstract

In accordance with the “Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the field of space activities for the period till 2030 and beyond” the key development thrust of Russian manned cosmonautics is being towards the Moon exploration. Two key Russian Moon Exploration Program events shall be: the landing of Russian cosmonauts on the Moon in 2030 and the start of manned flights to the Moon on a regular basis from 2032. Up-to-date, man activities at LEO are clearly considered to be of applicable nature and this activity shifts from “exploration” stage towards “utilization” one. Spacefaring nations are expecting to get notable practical results, including commercial benefits and ability to export “space” technologies to domestic market, as well as to reach a new “continent” - the Moon.

It is expected that the profound exploration of the lunar territories will become the main task of the world cosmonautics of the 21st century. The restored interest in the exploration of the Moon is largely caused by the discovery of the unique regions in the immediate vicinity of the lunar poles that have highly favorable conditions for the future deployment of lunar bases. There is hardly ever any sunset in the given regions, as well as in the very vicinity thereof there is high probability of sizable lunar ice deposits to be located.

If any favorable outcomes of these regions investigation are obtained the competition to obtain access to the regions under consideration and their resources will unfold, particularly taking into account new development trends in international space law. In this very case space robotics gets a new rational field of application, as well as its new development vectors are emerging to address the tasks on effective Moon exploration and manned missions support.

In this paper a methodological approach to form a basic set of scenarios and determine the required range of spacecraft for the implementation of a comprehensive long-term program of research and exploration of the Moon is considered. Baseline scenarios are the input data for the requirements definition to spacecraft, including space robotics. An evaluation of the relevance of various baseline platforms of automatic

spacecraft to accomplish the suggested scientific tasks to support manned missions has been conducted based on the analysis of the Russian Academy of Sciences priority tasks in the domain of lunar studies. Requirements for the proposed platforms are set within the scope of the baseline scenarios.

The proposed approach will allow for reduce in the dimension of the task of optimization of required range of spacecraft, functional and technical requirements for them and their development sequence, and focus on optimizing the range of “baseline spacecraft” (BS) and “baseline mission scenarios” (BMS) to ensure the implementation of the strategy.

Key words

The Moon, manned Moon exploration, lunar missions, space robotics, Russian Moon Exploration Program, rovers, lunar rovers, service lunar rover.

Ю.С. Бодрова, Г.Ф. Карабаджак, К.Г. Райкунов
**МОБИЛЬНЫЕ ПЛАТФОРМЫ КОСМИЧЕСКОЙ
РОБОТОТЕХНИКИ, ИХ ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗАДАЧИ И
ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ
ПОДДЕРЖКИ РОССИЙСКОЙ ПРОГРАММЫ
ПИЛОТИРУЕМОГО ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ**

*ФГУП ЦНИИмаш, г. Королёв
RaykunovKG@tsniimash.ru*

Аннотация

В соответствии с «Основами государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности до 2030 года и на дальнейшую перспективу» основной вектор развития пилотируемой космонавтики России направлен на освоение Луны. Двумя ключевыми событиями в российской лунной программе должны стать: высадка российских космонавтов на поверхность Луны в 2030 году и начало регулярных полётов на Луну с 2032 года. На околоземной орбите деятельность человека имеет ярко выраженный прикладной характер и переходит от этапа «освоения» к этапу «использования», космические державы ожидают ощутимых практических результатов, включая коммерческую выгоду и экспорт «космических» технологий на внутренний рынок, достижения нового «континента» в виде Луны.

Ожидается, что предметное освоение лунных территорий станет основной задачей мировой космонавтики 21-го века. Возобновлённый интерес к освоению Луны в значительной степени вызван недавно установленным фактом наличия в окрестности лунных полюсов уникальных районов, которые обладают крайне благоприятными условиями для будущего развертывания на них лунных баз. В этих

районах практически никогда не заходит Солнце и в их непосредственной окрестности с высокой вероятностью могут располагаться залежи лунного льда значительных размеров.

В случае благоприятных результатов исследований этих районов развернется конкурентная борьба за доступ к ним и их ресурсам, особенно учитывая новые тенденции развития космического международного права. В этом случае перед космической робототехникой открывается новая область рациональной применимости и возникают новые векторы её развития, направленные на решение задач обеспечения эффективного освоения Луны и обеспечения поддержки пилотируемых миссий.

В рамках данной статьи рассматривается методологический подход по формированию базового набора сценариев и определения требуемой номенклатуры средств для осуществления комплексной долгосрочной программы исследования и освоения Луны. Базовые сценарии являются исходными данными для формирования требований к обликам космических средств, в том числе и для робототехники. На основе анализа приоритетных задач РАН в части исследования Луны приводится оценка востребованности различных базовых платформ автоматических средств поддержки пилотируемых миссий, а на основе базовых сценариев формируются требования к предложенным платформам.

Рассматриваемый подход позволит снизить размерность оптимизационной задачи определения номенклатуры необходимых средств, функциональных и технических требований к ним, этапности их разработки и создания, и сконцентрироваться на оптимизации «базового состава средств» (БСС) и «базовых сценариев миссий» (БСМ), обеспечивающих реализацию принятой стратегии.

Ключевые слова

Луна, пилотируемое освоение Луны, лунные миссии, космическая робототехника, российская программа освоения Луны, роверы, луноходы, сервисный луноход.

O.V. Rudakova
**TESTING OUT ROBOTICS CONTROL TECHNOLOGIES
FOR MOON EXPLORATION**

*Federal state unitary enterprise Central Research
Institute for General Machine Building, Korolev, Russia
EmeldyashevaOV@tsniimash.ru*

According to the Manned Space Exploration Strategy till the year 2035 [1], the following goals are critical for manned spaceflights: Moon research and exploration as well as generating of technological knowledge for further human expansion into deep space (towards Mars and asteroids). To achieve such goals, we need to develop new technologies and create advanced crew support systems for on-planet and space based flight crews, particularly a wide variety of targeted Space Robotic Systems (SRS).

Currently in the program of the Moon exploration it is planned to develop and create a line of moon rovers of various dimensions and purposes for solving a number of different tasks: from selenological studies to constructing on-planet bases as well as mining operations. At the same time monitoring and controlling of moon rovers (as well as other on-planet SRS) in the near future inevitably will be performed by human operators. This implies the need for developing and testing out the technologies for effective human-machine interaction, in particular tele-robotic technologies for the movement of the SRS and performing various technological operations associated with the manipulation of objects.

At the present time and up to 2024 advanced space technologies is necessary for exploration of outer space beyond low-Earth orbits and for the implementation of manned flights to the Moon and Mars, are tested out on the ISS. Testing out of robotic systems in outer space on board the orbital station allows to predict the influence of extreme factors of space flight (g-force factor, zero gravity, communication delays, etc.) on SRS processing, as well as on performing various operations with the use of SRS.

In this paper there are examined basic processes of controlling on-planet SRS from the orbital station, the creation of human-machine interface that ensures effective interaction of the space operator on board the orbital station with remote on-planet SRS. Analysis of conducted and upcoming SRS tests on the ISS RS is also carried out. A review of new joint Russian-German project, in which it is supposed to develop methods and technologies for controlling on-planet mobile robots from a manned space station, is presented («Kontur-3»).

1. «Russian manned spacecraft strategy till the year 2035», 2015

О.В. Рудакова
ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ
КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКОЙ
ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ

*Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения», г. Королев
EmeldyashevaOV@tsniimash.ru*

В соответствии со Стратегией пилотируемой космонавтики до 2035 года [1] стратегически значимыми целями пилотируемой космонавтики являются исследование и освоение Луны, а также создание технологического задела для дальнейшей экспансии человека в дальний космос (к Марсу и астероидам). Для достижения данных целей необходима разработка новых технологий и создание перспективных средств поддержки экипажа напланетного и космического базирования, в частности космических робототехнических систем (РТС) различного целевого назначения.

В настоящее время в программе освоения Луны планируется разработка и создание линейки луноходов различной размерности и назначения для решения целого ряда задач: от проведения селенологических исследований до строительства и обслуживания напланетных баз, а также добычи полезных ресурсов. При этом работы по контролю и управлению луноходами (так же, как и другими напланетными РТС) в ближайшей перспективе, неизбежно, будут выполняться человеком-оператором. Это предполагает необходимость развития и отработки технологий эффективного человеко-машинного взаимодействия, в частности, технологий телеуправления, для осуществления перемещения РТС и выполнения ими различных технологических операций, связанных с манипулированием объектами.

В настоящее время и вплоть до 2024 года отработка перспективных космических технологий, необходимых для освоения космического пространства за пределами низких околоземных орбит и осуществления пилотируемых полётов к Луне и Марсу, осуществляется на МКС. Отработка робототехнических систем в условиях космического пространства на борту орбитальной станции позволяет наиболее полно учитывать влияние экстремальных факторов космического полета (перегрузок, невесомости, задержек связи и т.д.) на процессы управления РТС, а также на выполнение РТС различных операций.

В рамках представляемого доклада рассматриваются процессы управления напланетными РТС с борта орбитальных станций, вопросы создания человеко-машинного интерфейса, обеспечивающего эффективное взаимодействие оператора-космонавта, находящегося на борту орбитальной станции, с удаленными напланетными РТС. Также проводится анализ проведенных и готовящихся к реализации на борту РС МКС исследований по отработке РТС космического назначения и систем управления и приводится обзор нового совместного российско-германского проекта по отработке методов и технологий управления напланетными мобильными роботами с борта пилотируемой космической станции («Контур-3»).

1. «Стратегия российской пилотируемой космонавтики на период до 2035 года», 2015 г.

A.I. Bykov¹, A.V. Artemev¹, A.N. Sova²
**RESULTS OF ANALYSIS OF EXPERIMENTAL GROUND
TESTING METHODS OF PLANETARY ROVERS**

¹*Affiliate of Lavochkin Association, Kaluga, Russia,
bykovartem1994@yandex.ru, arav@laspace.ru*

²*Moscow Automobile and Road State Technical University
(MARI), Moscow, slsova@mail.ru*

A semi-natural tests of planetary rovers very important at the stage of verification of design solutions applied to a specific sample. At the moment, tests are carried out narrowly for the development of specific systems of planetary rovers, such as: control system, running gear, etc.

Analyzing main testing methods of planetary rovers we came to conclusion, that both physical and virtual models being used.

The semi-natural trials of planetary rovers can be carried out both on the natural landscape and on special landfills. Complicated relief on volcanic or deserts sand is usually chosen as a natural landscape [1]. When tests are held on artificial landfills ordinary sand, quartz or analogue ground are being used [2]. Analogue ground parameters can be calculated by analyzing images obtained from already used spacecraft's [3].

The main characteristic of a testing the running gear of planetary rovers is the time to move from the starting point to the final point of the route. In addition, the estimated average speed of movement over rough terrain is being monitored. The parameters of the obstacles that the rover can overcome without maneuvering are tested as well. These parameters include: height of steps and stones, terrain elevation angle and loose soils carrying capacity [4].

Running gear tests are also allowed to be held on planetary rover's virtual model. The article [5] deals with the problem of the longitudinal slip of a six-wheeled planetary rover climbing along inclined terrain. The experimental data for the simulation were obtained using a special stand. Stand tests were carried out for only one wheel.

The testing of a traffic control system requires a combined system of rover's physical and virtual models. An example of such tests is given in the article [6].

ESA installed the mock rover of the ExoMars program in France, remotely controlled from a special laboratory in the Netherlands to test planetary rover's remote control telemetry method's. The purpose of the test was to check how the rover will move off the landing module after landing on Mars. Telemetry sessions were held once an hour. Each new task was initially modeled as a virtual model of the rover environment, and then

compared with a panoramic image obtained from various cameras installed on the rover [7].

The test examples described above are effective in studying the capabilities of specific subsystems of planetary rovers. In this case, the disadvantage of each method is the absence of accounting for the gravitational effect, which is different from the earthly one.

To increase the completeness and accuracy of the assessment of the planetary rover in the normal mode and in emergency, it is necessary to develop an combined ground-based experimental testing of planetary rovers, taking into account both the reduced gravitational effect and the interaction of the planetary rover subsystems. The collection and analysis of test results give us an opportunity to develop digital model that can be used in the rover's normal mode on another planet to simulate it's movement in order to substantiate and develop proposals for making a motion control decision.

In the future, the digital model of the planet rover can be upgraded in order to provide the ability to predict failures of the planet rover's systems during normal operation on another planet.

1. M.I. Malenkov, V.A. Volov, N.K. Guseva, Ye.A. Lazarev Analiz podvizhnosti marsokhodov dlya razrabotki sistem peredvizheniya i algoritmov upravleniya planetokhodami novogo pokoleniya // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki. 2015. №1 (162).
2. A.F. Batanov, V.A. Vorontsov, YU.A. Khakhanov Sozdaniye innovatsionnykh kosmicheskikh podvizhnykh platform s ekonomicheski effektivnymi tekhnologiyami issledovaniy// 2-ya Nauchno-tekhnicheskaya konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «innovatsionnyye avtomaticheskiye kosmicheskiye apparaty dlya fundamental'nykh i prikladnykh nauchnykh issledovaniy. problemy sozdaniya sluzhebnykh i nauchnykh sistem»: Trudy konferentsii. (Anapa, Krasnodarskiy kray, 04-09 sentyabrya 2017 g.) M: Izdatel'stvo: Aktsionernoye obshchestvo «Nauchno-proizvodstvennoye ob'yedineniye im. S.A. Lavochkina», 2017 – S. 141-150.
3. A.F. Batanov, YU.A. Khakhanov Issledovaniye poverkhnostnogo sloya Luny s pomoshch'yu devyatogo koleasa lunokhoda i razvitiye etogo metoda // KHL Akademicheskkiye chteniya po kosmonavtike, posvyashchennyye pamyati akademika S.P.Koroleva. Moskva, 26-29.01. 2016 g.
4. M.I. Malenkov, A.N. Bogachev, V.A. Volov, N.K. Guseva, A.G. Konkolovich, D.N. Kuz'menko, V.M. Kurdzyuk, Ye.A. Lazarev, A.B. Fedorushkov, D.B. Fedorushkov Novyye proyektno-komponovochnyye

resheniya dlya povysheniya podvizhnosti i funktsional'nykh vozmozhnostey planetokhodov. // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki. 2017. №1 (186).

5. L. Zhengca, W. Yang Robust Adaptive Fuzzy Control for Planetary Rovers While Climbing up Deformable Slopes with Longitudinal Slip // Hindawi Publishing Corporation Advances in Aerospace Engineering Volume 2014, Article ID 620890, 10 pages.
6. A.C. Leite, B. Schafer, M.L. Souza Fault-Tolerant Control Strategy for Steering Failures in Wheeled Planetary Rovers // Hindawi Publishing Corporation Journal of Robotics Volume 2012, Article ID 694673, 15 pages.
7. URL: https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/ExoMars_software_passes_ESA_Mars_Yard_driving_test (дата обращения: 18.03.2019).

А.И. Быков¹, А.В. Артемьев¹, А.Н. Сова²

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА МЕТОДИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ПЛАНЕТОХОДОВ

*¹Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга, Калуга,
bykovartem1994@yandex.ru, arav@laspace.ru*

*²Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), Москва, slsova@mail.ru*

Полевые испытания планетоходов играют большую роль на этапе отработки конструкторских решений, примененных для конкретного образца. На данный момент испытания проводятся узконаправленно для отработки конкретных систем планетоходов, таких как: система управления, ходовая часть и т.д.

Анализ основных подходов к проведению испытаний планетоходов показывает, что в той или иной степени используются как физические макеты, так и виртуальные модели планетоходов.

Полунатурные испытания планетоходов могут проводиться как на природном ландшафте, так и на специальных полигонах. В качестве природного ландшафта обычно выбирается сложный рельеф на вулканических песках или в пустынях [1]. При испытаниях на специальных полигонах используют обычный песок, кварцевый или грунт-аналог [2]. Параметры грунта-аналога могут быть получены по результатам анализа снимков, полученных от уже используемых космических аппаратов [3].

При испытаниях ходовой части планетоходов основной характеристикой является время на перемещение из начального пункта

в конечный пункт маршрута. Кроме того, оценивается средняя скорость перемещения по пересеченной местности. Так же отслеживаются параметры препятствий, которые может преодолеть планетоход без маневрирования. К данным параметрам относятся: высота ступенек и камней, угол подъема местности, несущая способность рыхлых грунтов [4].

Проведение испытаний ходовой части так же возможно с использованием виртуальной модели планетохода. В работе [5] рассматривается проблема продольного скольжения шестиколесного планетохода при подъеме по наклонной местности. Экспериментальные данные для моделирования были получены с использованием специального стенда. Испытания на стенде проходили только для одного колеса.

Испытания системы управления движением требует комплексного подхода с использованием макета и модели планетохода. Пример такого рода испытаний приведен в работе [6].

Для проведения испытаний метода телеметрии при дистанционном управлении планетоходом Европейское Космическое Агентство разместило макет марсохода программы «ЭкзоМарс» во Франции, а управление им велось из специальной лаборатории в Нидерландах. Целью испытаний являлась проверка, как ровер сможет съехать с посадочного модуля после приземления на Марс. Сеансы телеметрии проводились один раз в час. Каждая новая задача изначально моделировалась в виде виртуальной модели окружения ровера, а затем сравнивалась с панорамным изображением, получаемым с различных камер, установленных на марсоход [7].

Описанные выше примеры испытаний являются эффективными при исследовании возможностей конкретных подсистем планетоходов. При этом недостаток каждого подхода заключается в отсутствии учёта гравитационного воздействия, отличного от земного.

Для повышения полноты и достоверности оценки работы планетохода в штатном режиме и при возникновении критических ситуаций требуется разработка комплексной методики наземной экспериментальной отработки планетоходов, учитывающую и пониженное гравитационное воздействие, и взаимодействие подсистем планетохода. Сбор и анализ результатов испытаний должен позволить разработать цифровую модель, которую можно будет использовать при штатной работе планетохода на другой планете для моделирования его движения с целью обоснования и разработки предложений для принятия решения по управлению движением.

В дальнейшем цифровая модель планетохода может быть модернизирована с целью обеспечения возможности прогнозирования отказов систем планетохода при штатной работе на другой планете.

1. М.И. Маленков, В.А. Волов, Н.К. Гусева, Е.А. Лазарев Анализ подвижности марсоходов для разработки систем передвижения и алгоритмов управления планетоходами нового поколения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. №1 (162).
2. А.Ф. Батанов, В.А. Воронцов, Ю.А. Хаханов Создание инновационных космических подвижных платформ с экономически эффективными технологиями исследований// 2-я Научно-техническая конференции с международным участием «инновационные автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований. проблемы создания служебных и научных систем»: Труды конференции. (Анапа, Краснодарский край, 04-09 сентября 2017 г.) М: Издательство: Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина», 2017 – С. 141-150.
3. А.Ф. Батанов, Ю.А. Хаханов Исследование поверхностного слоя Луны с помощью девятого колеса лунохода и развитие этого метода // XL Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П.Королева. Москва, 26-29.01. 2016 г.
4. М.И. Маленков, А.Н. Богачев, В.А. Волов, Н.К. Гусева, А.Г. Конколович, Д.Н. Кузьменко, В.М. Курдюк, Е.А. Лазарев, А.Б. Федорушков, Д.Б. Федорушков Новые проектно-компоновочные решения для повышения подвижности и функциональных возможностей планетоходов. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. №1 (186).
5. L. Zhengca, W. Yang Robust Adaptive Fuzzy Control for Planetary Rovers While Climbing up Deformable Slopes with Longitudinal Slip // Hindawi Publishing Corporation Advances in Aerospace Engineering Volume 2014, Article ID 620890, 10 pages.
6. A.C. Leite, B. Schafer, M.L. Souza Fault-Tolerant Control Strategy for Steering Failures in Wheeled Planetary Rovers // Hindawi Publishing Corporation Journal of Robotics Volume 2012, Article ID 694673, 15 pages.
7. URL: https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/ExoMars_software_passes_ESA_Mars_Yard_driving_test (дата обращения: 18.03.2019).

M.I. Malenkov, V.A. Volov
**SYSTEM OF FASTENING AND DEPLOYMENT OF ONBOARD
MANIPULATOR ORBITAL SHIP "BURAN".
PROBLEMS AND HISTORY OF CREATION**

*STC ROCAD, St. Petersburg
m.i.malenkov@gmail.com*

As is known, the first flight of the orbiter (OK) "Buran" № 1K1, was made in automatic mode on November 15, 1988. During the flight of the second sample (No. 2K1), the work of the on-board manipulator (BM), intended for carrying out various operations with spacecraft in orbits, was planned. The fastening of the OM in the payload compartment (PC), the deployment to the working position in orbit and the laying in the transport position before landing must be carried out using the OM fastening and deployment system (FDSOM).

In the USSR, it was known that similar functions are performed by a similar system of American space shuttles. This circumstance predetermined the identity of the composition of the FDSOM in both countries (Fig. 1). But the design of FDSOM was made independently of the American prototypes, the developers had no information in this part. Synthesis of mechanisms, design of aggregates, testing of calculations and test methods - all this was the result of VNIITransmash's own research of specialists conducted in collaboration with specialists of the main customer (RSC Energia), TsNII RTK (OM design) and other partners (names - modern).

FDSOM has a control unit, a cable network and 4 supports: one root node (RN) and three lodgments. RN provides a constant mechanical and electrical coupling of the OM arm with the airframe bearing beam in the transport and operating positions of the OM. He perceives all the loads acting on the OM during takeoffs and landings, reaching 36 kN along the longitudinal axis. All lodgements are identical, but have two mirror modifications. The lodgements include tape bandages with handles in the form of round rods. Wide ribbons gently cover the links of the manipulator, and the handles allow you to press the bandage to the bed trap using a fixing hook. This design provides a gravitational static and dynamic loading of the lodgments only perpendicular to the longitudinal axis of the OM. But the lodgments do not prevent the longitudinal movements of the carbon-fiber links of the OM with respect to the carrier beam made of aluminum alloys, with its thermal deformations within ± 40 mm, as well as with elastic, static gravitational and aerodynamic deformations of the airframe in all other directions. The maximum value of deformations, reduced to the longitudinal axis of the OM (about 15 m long and weighing 380 kg) reached 100 mm in the vertical and 40 mm in the horizontal planes.

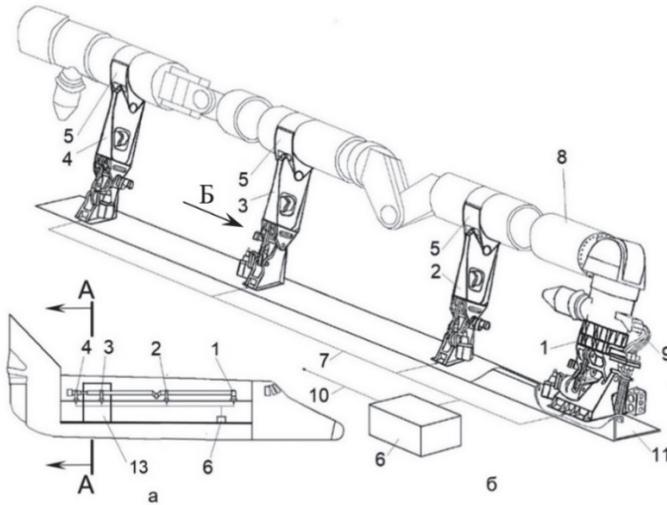


Figure 1 – The layout of the support of the FDSOM (starboard) in the OK “Buran” (a), the scheme of interfacing of the supports of the FDSOM with the beam of the airframe and the OM (b): 1– root node, 2, 3, 4 – shoulder, cubital and wrist lodgements, 5 – bandages, 6 – control unit, 7, 10 – cable network, 8 – OM (design TSNI RTK), 9 – transit cable OM, 11 – glider carrier (beam)

All four pillars, with a total weight of 90 kg, are equipped with electromechanical and redundant, in emergency situations, manual actuators for turning OM from the transport position inside the PC to the working position after opening the PC flaps. Three lodgments are equipped with duplicated drives fixation - release of the links of the OM in the transport and operating positions.

The creation of the FDSOM was entrusted to VNIITransmash by the decision of the military industrial commission under the USSR Council of Ministers in 1983. By 1990, autonomous tests of the FDSOM and tests of the “carrier beam simulator - FDSOM - OM” complex were completed. In 1992, flight samples of the FDSOM were, under the control of the developers, mounted and tested in the work on the right board OK in the assembly and test body of the site 254 of the Baikonur spaceport. In 1993, joint tests were conducted with the flight sample OM. This made it possible to draw up a conclusion on the admission of FDSOM to flight tests as part of the OK "Buran"№ 2K1. This sample, according to photos and videos on Internet sites, in recent years, was located in the assembly and refueling body of site 112.

М.И. Маленков, В.А. Волов
**СИСТЕМА КРЕПЛЕНИЯ И РАЗВЕРТЫВАНИЯ БОРТОВОГО
МАНИПУЛЯТОРА ОРБИТАЛЬНОГО КОРАБЛЯ «БУРАН».
ПРОБЛЕМЫ И ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ**

*АО НТЦ РОКАД, Санкт-Петербург
m.i.malenkov@gmail.com*

Как известно, первый полёт орбитального корабля (ОК) «Буран» №1К1, был совершён в автоматическом режиме 15 ноября 1988 года. При полете второго образца (№2К1) планировалась работа бортового манипулятора (БМ), предназначенного для проведения различных операций с космическими аппаратами на орбитах. Крепление БМ в отсеке полезного груза (ОПГ), развёртывание в рабочее положение на орбите и укладка в транспортировочное положение перед посадкой, должны производиться с помощью системы крепления и развёртывания БМ (СКБМ).

В СССР было известно, что эти же функции выполняет и аналогичная система американских космических челноков. Это обстоятельство предопределило идентичность состава СКБМ в обеих странах (рис. 1). Но конструкция СКБМ выполнена независимо от американских прототипов, никакой информацией в этой части разработчики не располагали. Синтез механизмов, проектирование узлов, отработка методов расчетов и испытаний - все это явилось результатом собственных поисков специалистов ВНИИТрансмаш), проведенных в содружестве со специалистами головного заказчика (РКК «Энергия»), ЦНИИ РТК (разработка БМ) и другими партнёрами (названия предприятий - современные).

СКБМ имеет блок управления, кабельную сеть и 4 опоры: один узел корневой (УК) и три ложементы. УК обеспечивает постоянное механическое и электрическое сопряжение плечевого звена БМ с бимсом в транспортировочном и в рабочем положениях БМ. Он воспринимает все нагрузки, действующие на БМ при взлётах и посадках, достигающие 36 кН по продольной оси. Все ложементы идентичны, но имеют две зеркальных модификации. В их состав входят ленточные бандажи с ручками в виде круглых стержней. Широкие ленты бережно охватывают звенья манипулятора, а ручки позволяют прижать бандаж к уловителю ложементы с помощью крюка механизма фиксации. Такая конструкция обеспечивает гравитационное статическое и динамическое нагружение ложементов только перпендикулярно к продольной оси БМ. Ложементы не препятствуют продольным перемещениям углепластиковых звеньев БМ относительно бимса планера, изготовленного из алюминиевых сплавов, при его тепловых деформациях в пределах ± 40 мм, а также

при упругих, статических гравитационных и аэродинамических деформациях планера во всех других направлениях. Максимальная величина деформаций, приведённых к продольной оси БМ (длиной около 15 м и массой 380 кг) достигала 100 мм в вертикальной и 40 мм в горизонтальной плоскостях.

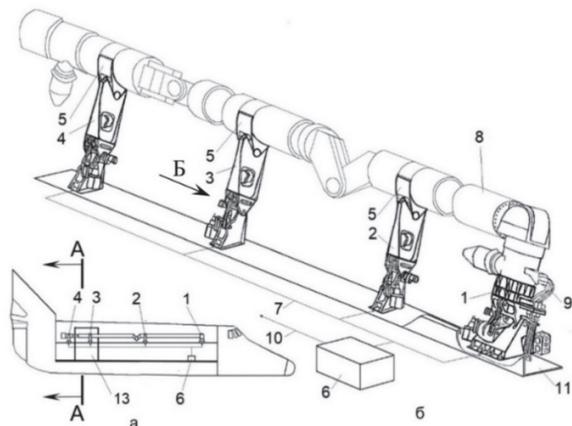


Рисунок 1 – Схема размещения опор СКБМ (правый борт) в ОПГ ОК «Буран» (а); схема сопряжения СКБМ с бимсом планера и БМ (б): 1 – узел корневой; 2, 3, 4 – ложементы плечевой, локтевой, кистевой; 5 – бандажи; 6 – блок управления СКБМ; 7 – кабельная сеть СКБМ; 8 – БМ (разработка ЦНИИ РТК); 9 – транзитный кабель БМ

Все четыре опоры, общей массой 90 кг, снабжены электромеханическими и дублирующими, в аварийных ситуациях, ручными приводами поворота БМ из транспортировочного положения внутри ОПГ в рабочее положение после раскрытия створок ОПГ. Три ложементы оснащены дублированными приводами фиксации - освобождение звеньев БМ в транспортировочном и рабочем положениях. На случай отказа приводов, в составе опор предусмотрены пиротехнические механизмы отделения БМ.

Создание СКБМ было поручено ВНИИТрансмаш решением ВПК при СМ СССР в 1983 г. К 1990 году были завершены автономные испытания СКБМ и комплекса «имитатор бимса – СКБМ – БМ». В 1992 лётные образцы СКБМ были, под контролем разработчиков, смонтированы на правом борту ОК в монтажно-испытательном корпусе площадки 254 космодрома Байконур и проверены в работе с технологическим, а затем, в 1993 г., с лётным образцом БМ. Это позволило оформить заключение о допуске СКБМ к лётным испытаниям в составе ОК «Буран» №2К1. Этот образец, согласно фото и видеоматериалам на Internet-сайтах, в последние годы находится в монтажно-заправочном корпусе площадки 112.

I.V. Fominov, A.A. Sasunkevich, P.V. Kalabin
**THE STUDY OF IMPLEMENTATION OF PASSIVE PERIODIC
FLYBY OPPORTUNITIES BY SPACE ROBOT OF A
NON-COOPERATIVE SPACECRAFT**

Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky, St. Petersburg
i.v.fominov@gmail.com, saa-soso@rambler.ru,
kalabinpavel179@gmail.com

The development of technologies of microelectronics, robotics and artificial intelligence contributes to the implementation of the tasks of service maintenance of non-cooperative(passive) spacecraft (NCS).

An important feature of the implementation of passive spacecraft maintenance tasks is the preliminary operations connected with the necessity of:

- visual examination of the serviced NCS, in order to diagnose a breakdown;
- preparation of special equipment of the space robot;
- waiting of a favorable situation to perform movement to contact to NCS and conduct special maintenance tasks;
- construction of three-dimensional models of NCS by methods of mapping photography well as a number of other tasks.

The above operations should be carried out at a distance of effective operation of the target equipment of the space robot relative to the serviced NCS during a sufficiently long interval of time (several turns). In the works [1,2], the ways of a coplanar passive periodic fly-by are presented and the conditions for its implementation are given.

The passive coplanar periodic overflight is understood as passive (without switching on a corrective propulsion system) movement of one spacecraft relative to another spacecraft along a closed trajectory in the moving orbital coordinate system (MOCS) at a small distances (relative distance is much less than the distance to the center of attraction) in a plane coinciding with the planes of the spacecraft orbit. The flyby period, when satisfying the specified relative motion parameters, is equal to the periods of the orbits, moving spacecraft relative to each other.

The report shows that to ensure a closed path of passive periodic overflown by space robot of NCS it is necessary to satisfy a number of requirements for the initial values of the parameters of relative movement of the spacecraft.

The results of numerical studies of the deviations of the initial values of the relative parameters of the movement of the spacecraft from the

required in the NCS on the type of the relative trajectory of the movement of the spacecraft are given. The results of the research allowed to make important practical conclusions:

1. If there is a deviation of relative coordinate $\Delta x \neq 0$ from the required one, the center of flyby trajectory moves along the axis of the NCS OX MOCS, but the path remains closed.

2. If there is a deviation of the relative coordinates $\Delta y \neq 0$ the trajectory of the relative motion of the spacecraft is a cycloid. This mistake is the most critical, since it can result in a collision of spacecraft and NCS.

3. If there is a deviation of the relative coordinates $\Delta z \neq 0$ focus of plane trajectory of NCS overflown varies by an angle proportional to the value Δz , around the axis OX system of relative coordinates NCS. In this case the spacecraft circled NCS by space robot in a plane which does not coincide with the plane of the orbit of spacecraft of NCS (out-of-plane circled).

4. Passive coplanar flyby of the NCS can be implemented for both the circular orbit of the NCS and its elliptical orbit. In the case of an elliptical orbit of NCS, the trajectory of the bypass of the spacecraft is a closed curve (in the absence of errors in the formation of the initial relative motion parameters), which is not an ellipse.

1. Korolev S.Yu. Algorithm of the Initial Exhibition of a Spacecraft-Robot for Circling an Orbital Object / I.V.Fominov, S.Yu.Korolev. Proceedings of the Military Space Academy named after A.F.Mozhaysky.2016. №655.P.157–161.
2. Fominov I.V. Analysis of the Influence of Errors in the Formation of the Initial Relative Parameters of the Motion of a Space Robot on the Trajectory of a Passive Periodic Flyby of an Uncooperative Spacecraft / A.A.Sasunkevich, P.V.Calabin. Proceedings of the Military Space Academy named after A.F.Mozhaysky- 2019. -Vol.666. - p. 210-218.

И.В. Фоминов, А.А. Сасункевич, П.В. Калабин
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ
ПАССИВНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОБЛЕТА СЕРВИСНЫМ
КОСМИЧЕСКИМ РОБОТОМ НЕКООПЕРИРУЕМОГО
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

*Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
Санкт-Петербург
i.v.fominov@gmail.com, saa-soso@rambler.ru,
kalabinpavel179@gmail.com*

Развитие технологий микроэлектроники, робототехники и искусственного интеллекта способствует реализации задач сервисного обслуживания некооперируемых (пассивных) космических аппаратов (НКА).

Важной особенностью реализации задачи обслуживания пассивного НКА являются подготовительные операции, связанных с необходимостью:

- визуального контроля обслуживаемого НКА, с целью диагностирования неисправности;
- подготовки специальной аппаратуры КР;
- ожидания благоприятной ситуации для выполнения сближения с НКА и проведения специальных задач обслуживания;
- построение трехмерной модели НКА методами фотограмметрии, а также ряда других задач.

Названные операции необходимо проводить на расстоянии эффективной работы целевой аппаратуры КР относительно обслуживаемого НКА в течении достаточно продолжительного интервала времени (несколько витков). В работах [1,2] представлены варианты проведения компланарного пассивного периодического облета и приведены условия для его осуществления.

Под пассивным компланарным периодическим облетом понимается пассивное (без включения корректирующей двигательной установки) движение одного КА относительно другого КА по замкнутой траектории в подвижной орбитальной системе координат (ПОСК) на малом расстоянии (относительное расстояние во много раз меньше расстояния до притягивающего центра) в плоскости, совпадающей с плоскостями орбит КА. Период облета при удовлетворении заданных относительных параметров движения равен периодам орбит, движущихся друг относительно друга КА.

В докладе показано, что для обеспечения замкнутой траектории пассивного периодического облета космическим роботом НКА необходимо удовлетворить ряд требований, предъявляемых к начальным значениям относительных параметров движения КР.

Приведены результаты численных исследований отклонения начальных значений относительных параметров движения КР от требуемых в ПОСК НКА на вид относительной траектории движения КР. Результаты исследования позволили сделать важные в практическом отношении выводы:

1. При наличии отклонения относительной координаты $\Delta x \neq 0$ от требуемой, центр траектории облета НКА смещается вдоль оси OX ПОСК, но при этом траектория остается замкнутой.

2. При наличии отклонения относительной координаты $\Delta y \neq 0$ траектория относительного движения КР представляет собой циклоиду. Эта ошибка является наиболее критичной, поскольку она может привести к столкновению КР и НКА.

3. При наличии отклонения относительной координаты $\Delta z \neq 0$ ориентация плоскости траектории облета НКА изменяется на угол, пропорциональный значению Δz , вокруг оси OX ОСК НКА. В этом случае происходит облет НКА космическим роботом в плоскости не совпадающей с плоскостью орбиты НКА (некомпланарный облет).

4. Пассивный компланарный облет НКА может быть реализован, как для круговой орбиты НКА, так и для его эллиптической орбиты. В случае эллиптической орбиты НКА траектория облета КР является замкнутой кривой (при отсутствии ошибок формирования начальных относительных параметров движения), не являющейся эллипсом.

1. Королев, С.Ю. Алгоритм начальной выставки космического аппарата-робота для выполнения облёта орбитального объекта / И.В. Фоминов, С.Ю. Королев. Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2016. №655. С.157–161.
2. Фоминов И.В. Анализ влияния ошибок формирования начальных относительных параметров движения космического робота на траекторию пассивного периодического облета некооперируемого космического аппарата / А.А. Сасункевич, П.В. Калабин. Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. – 2019. – Вып. 666. – С. 210-218.

S.A. Matveev, E.B. Korotkov, N.S. Slobodzyan
FEATURES OF SPACE APPLICATION OF
HEXAPOD DRIVES CONTROL

Baltic State Technical University «VOENMEH», St. Petersburg
ebkorotkov@yandex.ru, ja-nikita@mail.ru

The use of parallel kinematics mechanisms in space technology in the tasks of precision instruments pointing, as well as their stabilization and vibration isolation is very promising [1]. Russian developers are considering the possibility of creating a multisection manipulator to provide navigation tasks for the Millimetron orbital astrophysical observatory [2].

The basic principle of developing a high-quality positioning and orientation system of an object is feedback control of its position. For the type of pointing devices under consideration, these are three angular and three linear coordinates. Extreme environmental conditions in which the spacecraft equipment operates impose a number of restrictions on the component base used [3]. The accuracy of moving an object placed on a moving platform of a hexapod depends both on the manufacturing errors of the mechanism itself and on correct accounting for all kinematic parameters entered into the mechanism control system for solving the inverse kinematics problem. But first and foremost, the accuracy of movement of the output link - a moving platform with an object - is affected by the accuracy of the linear drives. Due to the drawbacks of the above approaches to building a system for measuring the position and orientation of a mobile platform, as well as in accordance with the modular design principle of the considered mechanism, it is optimal to ensure the functioning of linear drives as closed-loop actuators or servo drives.

The application of system for indirect measurement of a linear position as part of a linear actuator design is considered. In the course of experimental studies, an assessment was made of the accuracy of displacement of a linear actuator rod without feedback on the output coordinate. The accuracy that is achievable when performing the calibration of the ball screw of the linear drive, as well as taking into account the linear temperature changes of dimensions, is estimated.

1. Gorbunov A. V., Korotkov E. B., Lekanov A. V., Rudyka S. A., Slobodzyan N. S. The use of spatial mechanisms with a parallel structure for the guidance, stabilization and vibration isolation of onboard devices. *Reshetnevskie chteniya*, 2017, vol. 1, no. 21, pp. 117–118. (In Russian).

2. Artemenko Yu. N. Multifunctional use of the pointing pointing device of the Millimetron space telescope. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo, 2011, no. 4-2, pp. 44–46. (In Russian).
3. International Space Station (ISS) Researcher’s Guide [Electronic resource] / National Aeronautics and Space Administration. - Electron. text given. - USA, 2015. - Access mode: https://www.nasa.gov/sites/default/files/np-2015-03-015-JSC_Space_Environment-ISS-Mini-Book-2015-508.pdf.

С.А. Матвеев, Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян
**ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ ГЕКСАПОДА
КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

*Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург
ebkorotkov@yandex.ru, ja-nikita@mail.ru*

Перспективным является применение механизмов с параллельной кинематикой в космической технике в задачах наведения и ориентации прецизионных приборов, а также их стабилизации и виброизоляции [1]. Отечественными разработчиками рассматривается возможность создания многосекционного манипулятора для обеспечения навигационных задач орбитальной астрофизической обсерватории «Миллиметрон» [2].

Основным принципом построения качественной системы позиционирования и ориентации объекта является управление с обратной связью по его положению. Для рассматриваемого типа устройств наведения — это три угловых и три линейных координаты. Экстремальные условия внешней среды, в которых функционирует аппаратура космического аппарата, накладывают ряд ограничений на используемую компонентную базу [3]. Точность перемещения объекта, размещенного на подвижной платформе гексапода, зависит как от погрешностей изготовления самого механизма, так и от правильного учета всех кинематических параметров, вводимых в систему управления механизмом для решения обратной задачи кинематики. Но в первую очередь на точность перемещения выходного звена — подвижной платформы с объектом — влияет точность работы линейных приводов. Из-за недостатков вышеописанных подходов к построению системы измерения положения и ориентации подвижной платформы, а также в соответствии с модульным принципом построения рассматриваемого механизма, наиболее оптимальным является обеспечение

функционирования линейных приводов как замкнутых исполнительных устройств, или сервоприводов.

Рассмотрен вариант размещения системы косвенного измерения линейного положения в составе конструкции линейного привода. В ходе экспериментальных исследований была выполнена оценка точности перемещения штока линейного привода без обратной связи по выходной координате. Оценена точность, достижимая при выполнении калибровки шарико-винтовой передачи линейного привода, а также при учете линейных температурных изменений размеров.

1. Горбунов А.В., Коротков Е.Б., Леканов А.В., Рудыка С.А., Слободзян Н.С. Применение пространственных механизмов с параллельной структурой для наведения, стабилизации и виброизоляции бортовых приборов // Решетневские чтения. 2017. Т. 1. № 21. С. 117-118.
2. Артеменко Ю.Н. Многофункциональное использование манипулятора наведения космического телескопа «Миллиметр» // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4-2. С. 44-46.
3. International Space Station (ISS) Researcher's Guide [Электронный ресурс] / National Aeronautics and Space Administration. – Электрон. текстовые дан. – США, 2015. – Режим доступа: https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/NP-2015-03-015-JSC_Space_Environment-ISS-Mini-Book-2015-508.pdf.

*S.A. Matveev, I.N. Magomedov, A.C. Tolmachev,
A.D. Shirshov, N.G. Yakovenko*
**ROBOTIC SYSTEM FOR DRIVE THE FORM OF
RECONFIGURATION RADIO AERIAL IN SPACE**

*Baltic state technical university "VOENMEH"
named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg
yakovenko_ng@mail.ru*

The relevance of the work lies in the fact that:

- as the size of the reflectors grows, their structural rigidity decreases, and it is necessary to use shape control systems for large-sized transformable structures;
- with the growth of a given period of active existence of large-sized reflectors in orbit, the long-term factors of outer space have an increasing effect on them, leading to a distortion of the ideal form of the radio reflecting network; in addition, they begin to show relaxation changes in materials and structures, also leading to deviations of the actual shape from the set.

The aim of the project is to develop a wireless multipoint system for controlling the shape of a radio-reflective network - mounted net tied onto a large-sized transformable umbrella-type design; The control system is intended to correct the shape of the radio reflecting network in the process of long-term operation in the near-earth orbit in order to counter external thermal and dynamic disturbances, as well as to reduce the effect of relaxation changes in design parameters and network during space aging under the influence of outer space factors.

The objectives of the project are as follows:

- the choice of microelectromechanical actuator, providing the required effort and speed of movement of the control shafts with a minimum weight of the actuator;
- development of a system for measuring the spatial position of the characteristic points of a radio-reflecting network;
- development of the mathematical apparatus and software implementation of the calculation of the minimum distance of movement of the characteristic point of the network from the actual position to the required one with recalculation into the change of the length of the control cable;
- providing guidance of the pump laser to the required photodetector and transmitting along the beam of power sufficient for the actuator to move the characteristic point of the network to the specified spatial position;

– development of an electrical energy storage device in an amount sufficient to provide one complete predetermined cycle of the actuator operation when the length of the cable is changed.

The main feature of the BSUF KTK is the provision of multipoint distributed control of the shape of the elastic network with multipoint wireless transmission of energy and information over a laser beam from a single center.

In 2018, during the implementation of the work of the 2nd stage, a design sketch documentations BSUF KTK was developed, a prototype BSUF KTK was manufactured and tested while controlling the actuators by a laser beam.

In the course of the third stage currently underway, the development of the design sketch of the experimental model BSUF KTK was completed, the purchase of materials and components for the experimental sample was completed, the individual case parts of the actuators were manufactured, the installation and laboratory studies of the purchased BSUF KTK experimental model were started.

Prospects for practical use.

In large transformable space structures for active control of the radio reflecting shape of the network during operation, in order to rebuild the parameters of the reflector to the changed radiation frequency or to the changed requirements on the radiation pattern of the radiator or receiver.

To compensate for relaxation distortions of the form during long and very long operation, caused by long-acting loads and alternating temperature deformations, as well as radiation degradation of the materials of the reflector design.

*С.А. Матвеев, И.Н. Магомедов, А.С. Толмачев,
А.Д. Ширишов, Н.Г. Яковенко*

**РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФОРМОЙ
РАЗВОРАЧИВАЕМОЙ РАДИОАНТЕННЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ
КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

*Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург
yakovenko_ng@mail.ru*

Актуальность работы заключается в том, что:

– с ростом размеров рефлекторов у них уменьшается конструкционная жесткость и необходимо применять системы управления формой крупногабаритных трансформируемых конструкций;

– с ростом заданного срока активного существования крупногабаритных рефлекторов на орбите на них оказывает возрастающее влияние долговременные факторы космического пространства, приводящие к искажению идеальной формы радиоотражающего сетеполотна; кроме этого, у них начинают проявляться релаксационные изменения в материалах и конструкциях, также приводящие к отклонениям фактической формы от заданной.

Целью проекта является разработка беспроводной многоточечной системы управления формой радиоотражающего сетеполотна, натянутого на крупногабаритную трансформируемую конструкцию типа «зонтичный рефлектор»; система управления предназначена для корректировки формы радиоотражающего сетеполотна в процессе многолетней эксплуатации на околоземной орбите с целью парирования внешних тепловых и динамических возмущений, а также уменьшения влияния релаксационных изменений параметров конструкции и сетеполотна в процессе старения под воздействием факторов космического пространства.

Задачами проекта являются следующие:

– выбор микроэлектромеханического исполнительного устройства – актуатора, обеспечивающего требуемые усилия и скорости перемещения управляющих вант при минимальном весе актуатора;

– разработка системы измерения пространственного положения характерных точек радиоотражающего сетеполотна;

– разработка математического аппарата и программная реализация расчета минимального расстояния перемещения характерной точки сетеполотна из фактического положения в требуемое с пересчетом в изменение длины управляющей венты;

– обеспечение наведения лазера накачки на требуемый фотоприемник и передача по лучу мощности, достаточной для работы актуатора по перемещению характерной точки сетеполотна в заданное пространственное положение;

– разработка накопителя электроэнергии в объеме, достаточном для обеспечения одного полного заданного цикла работы актуатора при изменении длины ванты.

Основной особенностью БСУФ КТК является обеспечение многоточечного распределенного управления формой упругого сетеполотна при многоточечной беспроводной передаче энергии и информации по лазерному лучу из единого центра.

В 2018 году в ходе выполнения работ 2-го этапа проведена разработка эскизной КД БСУФ КТК, изготовлен и испытан макетный образец БСУФ КТК при управлении актуаторами по лазерному лучу.

В ходе идущего в настоящее время третьего этапа завершена разработка эскизной КД экспериментального образца БСУФ КТК, завершается закупка материалов и комплектующих для изготовления экспериментального образца, производится изготовление отдельных корпусных деталей актуаторов, начался монтаж и лабораторные исследования закупленных и изготовленных элементов экспериментального образца БСУФ КТК.

Перспективы практического использования.

В крупногабаритных трансформируемых космических конструкциях для активного управления формой радиоотражающего сетеполотна в процессе эксплуатации с целью перестроения параметров рефлектора под измененную частоту излучения или под изменившиеся требования к диаграмме направленности излучателя или приемника.

Для компенсации релаксационных искажений формы при длительной и очень длительной эксплуатации, вызванных длительно действующими нагрузками и знакопеременными температурными деформациями, а также радиационной деградацией материалов конструкции рефлектора.

A.G. Pochezhertsev, V.M. Kopylov
**UNIVERSAL DOCKING ASSEMBLY DESIGN FOR AUTOMATIC
ASSEMBLY OF LARGE UNTIGHT STRUCTURES
IN NEAR-EARTH SPACE**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
a.pochezhertsev@rtc.ru*

In modern practice, the design of spacecraft (SC) untight compartments, except for the hull, performed from one or more segments of the trusses, installed in the operating position by means of spring or electric motors[1]. While the size of farms grows, the number of segments and the actuators increases, so the reliability of the whole truss decreases, and mass grows. The development of space technology requires an increase in the length of such trusses, to increase the disposable energy onboard and the main characteristics of SC. One of the possible ways of increasing the size of farms without increasing the number of mechanisms for the disclosure is assembling of such structures directly in orbit using robotic tools. Currently, robotic systems capable of docking large modules in near-earth orbit are being designed and operated ([2],[3]). But at present, no appropriate building blocks have been developed that implement a mechanical, electrical and thermal interface sufficient to ensure the operation of the entire structure, and at the same time does not impose additional requirements for a robotic assembly system. A good approximation to the problem solving is the work[4], but the authors suggest using modules to assemble the spacecraft hull, while for the implementation of large-size trusses the module design has insufficient mass quality.

In this article, the basic design solutions of the node element for the assembly of a untight truss mounted on a spacecraft are proposed. The node element implements mechanical docking without backlash, provides thermal contact, transmission lines of digital and analog (if necessary) signals, as well as the transmission of electricity over a network with a voltage of up to 27V. Node element design takes into account the requirements of existing space robotics to the positioning of parts.

Structurally, the unit consists of two bushings with ledges and matching grooves at the ends. On the cylindrical surfaces of the joint of the bushings, the grooves filled with solder are made, and an isolated spiral of the electric heater is laid on the solder ring of one of the bushings. The design of each sleeve provides insulated space for the installation of

electrical connectors and the heat pipe. The connection occurs as a result of the fusion of two solder rings embedded in the groove of the sleeves. The special shape of the jointed flanges unloads the solder ring from all loads except compression/tension. Controlled winding of the heater coil provides simultaneous and uniform heating of the entire solder mass.

The proposed design and method of assembly allows to achieve high assembly accuracy in combination with sufficient strength of the connection. The disadvantages of this method are its duration and energy consumption. For a reliable connection it requires a waste of $\sim 6\text{A}\cdot\text{h}$ for 40 minutes.

1. Козлов Д.И., Аншаков Г.П., и др., под ред. Козлова Д.И. Конструирование автоматических космических аппаратов. М.:Машиностроение, 1996 – 448 с.;
2. Coleshill E., Oshinowo L., Rembala R., Bina B., Rey D., Sindelar S. Dextre: Improving maintenance operations on the International Space Station // *Acta Astronautica*, 2009. 64(9-10), 869–874 с.;
3. Лопота В. А., Потапов А. М., Градовцев А. А., Каргов А. И., Даляев И. Ю. Транспортно-манипуляционная система для обслуживания Международной космической станции и поддержки внекорабельной деятельности космонавтов // *Мехатроника, автоматизация, управление*. М.: Изд-во «Новые технологии», 2011. №2. 6–16 с.;
4. Kortmann M., Rühl S., Weise J., Kreisel J., A. Schervan T., Schmidt H., Dafnis A. Building block – based “iBOSS” approach: fully modular systems with standard interface to enhance future satellites // 66th International Astronautical Congress 2015: Space - The Gateway for Mankind's Future, IAC 2015, Jerusalem, Israel, 12 October 2015 - 16 October 2015.

А.Г. Почезерцев, В.М. Копылов
**КОНСТРУКЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТЫКОВОЧНОГО УЗЛА
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ
НЕГЕРМЕТИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В
ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
a.pochezhertsev@rtc.ru*

В современной практике конструирования космических аппаратов (КА) негерметичные отсеки, кроме несущего корпуса, выполняют из одного или нескольких сегментов ферм, устанавливаемых в рабочее положение с помощью пружинных или электрических двигателей [1]. При увеличении размеров ферм растет число сегментов сложения и, соответственно, приводов, надежность раскрытия падает, а масса возрастает. Развитие космической техники требует увеличения протяженности таких ферм, для увеличения энергооборуженности и основных характеристик КА. Одним из возможных путей увеличения габаритов ферм без увеличения числа механизмов раскрытия является организация сборки таких конструкций непосредственно на орбите с помощью робототехнических средств. В настоящее время проектируются и эксплуатируются робототехнические системы, способные осуществлять стыковку крупногабаритных модулей на околоземной орбите ([2],[3]), однако не разработаны соответствующие строительные блоки, реализующие механический, электрический и тепловой интерфейс, достаточный для обеспечения работы всей конструкции, и в то же время не предъявляющий дополнительных требований к робототехнической системе сборки. Хорошим приближением к решаемой задаче является разработка [4], однако авторы предполагают использовать модули для сборки корпуса КА, в то время как для реализации крупногабаритных ферм конструкция модуля имеет недостаточное массовое качество.

В настоящей статье предложены основные конструктивные решения узлового элемента для сборки негерметичной фермы, устанавливаемой на космическом аппарате. Узловой элемент реализует механическую стыковку без люфтов, обеспечивает тепловой контакт, линии передачи цифровых и аналоговых (при необходимости) сигналов, а также передачу электроэнергии по сети с напряжением до 27В. Разработка интерфейса стыковки учитывает требования, предъявляемые существующими средствами космической робототехники к позиционированию деталей.

Конструктивно узел представляет собой две втулки с выступами и ответными пазами на торцах. На цилиндрических поверхностях

стыка втулок выполнены проточки, заполненные припоем, причем на кольцо припоя одной из втулок уложена изолированная спираль электронагревателя. В конструкции каждой втулки предусмотрены теплоизолированные места для установки электроразъемов и тепловой трубы. Соединение происходит в результате сплавления двух колец припоя, заложенных в проточки втулок. Специальная форма стыкуемых фланцев позволяет разгрузить припой от всех нагрузок, кроме сжатия/растяжения. Контролируемая навивка спирали нагревателя обеспечивает одновременный и равномерный прогрев всей массы припоя.

Предлагаемая конструкция и способ создания соединения позволяют достичь высокой точности сборки в сочетании с достаточной прочностью соединения. В качестве недостатков данного метода отмечаются его длительность и энергозатратность. Для надежного соединения требуется непрерывный нагрев, продолжительностью ~40 минут, с суммарным энергопотреблением ~6А•ч.

1. Козлов Д.И., Аншаков Г.П., и др., под ред. Козлова Д.И. Конструирование автоматических космических аппаратов. М.:Машиностроение, 1996 – 448 с.;
2. Coleshill E., Oshinowo L., Rembala R., Bina B., Rey D., Sindelar S. Dextre: Improving maintenance operations on the International Space Station // *Acta Astronautica*, 2009. 64(9-10), 869–874 с.;
3. Лопота В. А., Потапов А. М., Градовцев А. А., Каргов А. И., Даляев И. Ю. Транспортно-манипуляционная система для обслуживания Международной космической станции и поддержки внекорабельной деятельности космонавтов // *Мехатроника, автоматизация, управление*. М.: Изд-во «Новые технологии», 2011. №2. 6–16 с.;
4. Kortmann M., Rühl S., Weise J., Kreisel J., A. Schervan T., Schmidt H., Dafnis A. Building block – based “iBOSS” approach: fully modular systems with standard interface to enhance future satellites // 66th International Astronautical Congress 2015: Space - The Gateway for Mankind's Future, IAC 2015, Jerusalem, Israel, 12 October 2015 - 16 October 2015.

V.V. Titov, I.R. Nanyageev
**THE INERTIA, MASS AND CENTER OF MASS MEASUREMENT
SYSTEM BASED ON INDUSTRIAL 6DOF MANIPULATOR
WITH FORCE-TORQUE SENSOR:
THE DEVELOPMENT AND THE APPLICATION**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
i.nanyageev@rtc.ru, vtitov@rtc.ru*

It is essential to know the inertia, mass and center of mass of the manipulation systems for its precise control. In addition, knowledge of inertia, mass and center of mass payload is important for simulation of payload motion in different environments.

The measurement of the inertia, mass and center of mass of payload is possible by various ways.

In industrial conditions, it is often case when the payload often change or there are a large number types of payload or case when there are often measurement of the payload with variable parameters. In this case, the fast and convenient method of measurement the inertia, mass and center of mass of the payload excluding often release of the payload from manipulator is grow actual. This is the reason for the inertia, mass and center of mass measurement system based on industrial 6DOF manipulator with force-torque sensor presented in this paper. Also the advantage of using the same manipulator for identification of parameters of the payload paper lies in the fact that the system presented in this paper allow to estimate the internal parameters of force-torque sensor for full description of model of estimate of applied load.

The major idea of the system is separate of measurement on two part: the first part is the identification of mass and center of mass of payload, the second part is the identification of inertia tensor of payload.

The first part is modification of the reaction method for identification of mass and center of mass. The measurement body have only one point for measurement of reaction is the point of fixing to the flange of the end effector of the manipulator. This is the reason for simulation of two missing points by changing orientation of the measured body and measurement of the reaction in new positions.

The second part is generation of rotation around axes of the frame attached in the center of mass identified in previous part and the measurement of forces and torques generated during rotation.

This paper except description of the method, also present the analyze of sources of measurment errors, a theoretical estimate of the error in measuring the mass, center of mass and inertia, an experimental measurement the mass, center of mass and inertia for verification accuracy of the method and for validation of theoretical estimation.

В.В. Титов, И.Р. Нанягеев

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССО-ИНЕРЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕЗНОГО ГРУЗА ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА ОСНАЩЕННОГО ДАТЧИКОМ СИЛ И МОМЕНТОВ: ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
i.nanjageev@rtc.ru, vtitov@rtc.ru*

В задачах движения манипуляционных систем знание модели его динамики и ее параметров является необходимым условием точности отработки траекторий. Также, знание массо-инерционных параметров полезного груза, закрепленного на выходном звене промышленного манипулятора, крайне важно для имитации движения данного груза в различных средах.

Измерение массо-инерционных параметров полезного груза возможно различными методами. В условиях промышленности нередко ситуация, когда груз часто меняется или имеется большое количество различных типов грузов, или же необходимо часто идентифицировать параметры одного и того же груза с меняющимися характеристиками. В данной ситуации актуальным становится быстрый и удобный способ определения массо-инерционных параметров, по возможности, исключающий снятие груза с манипулятора, поэтому в данной статье предлагается система, основанная на промышленном шестистепенном манипуляторе, оснащенный шестикомпонентным датчиком сил и моментов, закрепленного на выходном звене манипулятора. Преимущество использования того же манипулятора при идентификации параметров состоит также в том, что система, представленная в данной статье помимо параметров полезного груза, позволяет определять внутренние параметры датчика, знание которых необходимо для полного описания параметров модели оценки прикладываемой нагрузки.

В основе системы определения лежит способ измерения, заключающийся в разделении измерений на два основных этапа: 1) определение массы, координат центра масс и 2) определение тензора инерции полезного груза.

Первый этап является модификацией метода реакций для определения массы и координат центра масс. Поскольку измеряемый объект имеет лишь одну точку для измерения реакции – место закрепления к фланцу рабочей точки манипулятора, оснащенного датчиком сил и моментов, то имитирование минимум двух оставшихся точек будет происходить путем изменения ориентации измеряемого объекта в пространстве и измерения сил и моментов реакции в новых положениях.

Второй этап заключается генерации вращений вокруг осей системы координат, имеющей начало координат в центре масс полученном на предыдущем этапе и измерении сил и моментов, возникающих во время движения.

В статье помимо описания способ измерения также представлен, анализ источников вносимых погрешностей, дана теоретическая оценка ошибки в измерении массо-инерционных параметров в зависимости от величины ошибки входных параметров. Приводятся результаты экспериментов по определению массо-инерционных параметров известных объектов с целью проверки точности метода и валидности теоретического расчета погрешностей.

A.V. Vasilev, A.V. Sergeev
**DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR A GROUND
TESTBED FOR MODELING AND RESEARCH OF REMOTE
CONTROL TECHNOLOGIES FOR A SMALL
EXPLORATION LUNAR ROVER**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
andrey@rtc.ru*

The possible schedule of the Moon exploration was repeatedly discussed by domestic and foreign experts. To date, the overall structure of these phases is generally clear, although there are some differences in the composition, sequence, and projected timing of their implementation.

An essential part of the first stages of the Moon's exploration in the next 10-15 years will be to exploit mobile robots in solving a wide range of tasks on the Moon's surface - from research to construction. At present, an outline of the possible range of required mobile robotic systems (MRS) has already been formed, including: a heavy research lunar rover for geological exploration on the lunar surface, a heavy unpressurized lunar rover with piloting capability for transportation, handling and service tasks, heavy sealed manned lunar rover, heavy moon rover-builder, light research and service lunar rovers.

An important scientific and technological challenge on the way of celestial bodies exploration by means of robotics is the creation and development of a technology for their remote control. Despite the significant success achieved in recent years in the field of creating of autonomous control systems for MRS, the role of humans in the control loop of planetary robots in the near future will remain significant. Therefore, the development and improvement of remote control technologies (telecontrol) for objects located at a considerable distance from the control centers is a vitally important scientific and technical task.

A series of joint Russian-German space experiments (SE) «Kontur» (the first two series of these SE were carried out in 2008-2016) aimed at solving this problem, the purpose of which was to study how weightlessness affects the operator on board the manned space station, as well as to develop technologies for managing robotic complexes, taking into account delays in the communication channel, to study the ergonomic issues of constructing the operator's workplace in a weightless state, to improve scenarios of future rover-assisted missions to the moon.

Within the framework of the currently planned SE «Kontur-3», from the Russian side, it is proposed to use a small model (weighing about 150...200 kg) of the Lunokhod, intended both for scientific research and a number of service tasks during maintenance of scientific and industrial facilities on the Moon surface.

This report sets out the initial requirements for the construction of a ground testbed, designed both for testing the main systems of the future lunar rover, and for conducting research during future SE sessions.

А.В. Васильев, А.В. Сергеев

**РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К НАЗЕМНОМУ СТЕНДУ
(ПОЛИГОНУ) ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОТРАБОТКИ
ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ЛУНОХОДОМ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
andrey@rtc.ru, asergeev@rtc.ru*

Возможная этапность исследования и освоения Луны многократно обсуждалась отечественными и зарубежными специалистами. На сегодняшний день укрупнённая структура этих этапов в целом ясна, хотя имеются некоторые различия в составе, последовательности и прогнозируемых сроках их реализации.

Неотъемлемой частью первых этапов освоения Луны в ближайшие 10-15 лет станет привлечение мобильных роботов для решения широкого круга задач на поверхности Луны – от исследовательских до строительных. В настоящее время в общих чертах уже сформировано представление о возможной номенклатуре требуемых мобильных робототехнических систем (МРТС), среди которых: тяжёлый исследовательский луноход для геологической разведки на поверхности Луны, тяжёлый негерметичный транспортный луноход с возможностью пилотирования для транспортных, разгрузочно-погрузочных и сервисных задач, тяжёлый герметичный пилотируемый луноход, тяжёлый луноход-строитель, лёгкие исследовательские и сервисные луноходы.

Важной научно-технической задачей на пути освоения небесных тел средствами робототехники является создание и отработка технологии дистанционного управления ими. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в последние годы в области построения систем управления автономных МРТС, роль человека в контуре управления напланетными роботами в просматриваемой

перспективе останется по-прежнему значительной. Поэтому развитие и совершенствование технологий дистанционного управления (телеуправления) объектами, находящимися на значительном удалении от центров управления является актуальной научно-технической задачей.

На решение этой задачи направлена серия проводимых совместных российско-германских космических экспериментов (КЭ) «Контур» (первые две серии этих КЭ выполнялись в 2008-2016 гг.), целью которых является исследование влияния на оператора, находящегося на борту пилотируемого комического комплекса (ПКК), враждебных человеку факторов невесомости, а также отработка технологий управления робототехническими комплексами с учётом задержек в канале связи, отработка эргономических вопросов построения рабочего места оператора, находящегося в невесомости, отработка сценариев функционирования луноходов в ходе будущих экспедиций на Луне.

В рамках планируемого в настоящее время КЭ «Контур-3» с российской стороны в качестве объекта управления предполагается использование макета малого (массой около 150...200 кг) лунохода, предназначенного как для проведения научных исследований, так и выполнения ряда сервисных работ в ходе обслуживания объектов научного и промышленного назначения на поверхности Луны.

В настоящем докладе формируются исходные требования для построения наземного полигона, предназначенного как для отработки основных систем будущего лунохода, так и проведения исследований в ходе будущих сеансов КЭ.

**M. Guk, I. Dalyaev, E. Kuznetcova,
A. Sergeev, A. Truts**
**7-DOF HAPTIC DEVICE FOR BILATERAL CONTROL OF ON-
GROUND ROBOT**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg*
*m.gook@rtc.ru, igor@rtc.ru, e.kuznecova@rtc.ru,
asergeev@rtc.ru, a.truts@rtc.ru*

The exploration of the Moon resources is one of the strategic goals of the Russian space program. The use of an autonomous robotic lunar rover will allow to effectively and safely conduct explorations of the lunar surface, resources localization, as well as building of the Russian lunar base. The remote control of the rover is conducted in the supervisor and in manual modes.

Different input devices are used for the implementation of the manual control: 7-DOF haptic device [1], 2-DOF RJo [2], Sensor shirt and gloves [3]. The article presents a comparative characteristic of these devices.

When using the 7-DOF haptic device “Delta”, the information model of the operator is supplemented with data on the force-torque interaction of the controlled object with the external environment.

1. Kuznetcova, E[lena]; Titov, V[iktor]; Smirnov, E[vgeniy]; Dalyaev, I[gor] & Truts, A[lexander] (2018). Design and Simulation Analysis of Haptic Device With Parallel Kinematics, Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, pp.0636-0644, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-20-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.092.
2. J. Artigas , C. Riecke , B. Weber , M. Stelzer , R. Balachandran , S. Schaezle , R. Bayer , M. Steinmetz , J. Voegl , B. Brunner , A. Albu-Schaeffer , M. Guk , V. Zaborovskiy , A. Kondratiev , V. Muliukha , A. Silinenko , O. Shmakov. FORCE-FEEDBACK TELEOPERATION OF ON-GROUND ROBOTS FROM THE INTERNATIONAL SPACE STATION IN THE FRAME OF THE «KONTUR-2» EXPERIMENT, Proceedings of the International Scientific and Technological Conference. – Saint-Petersburg: «AP4Print», 2016, pp. 50-56, ISBN 978-5-9909163-3-3.
3. Kinfinity Suit & Glove [Electronic resource] / Free access: <https://event.dlr.de/hmi2018/kinfinity-suit-glove/> – Screen title.

*М.Ю. Гук, И.Ю. Даляев, Е.М. Кузнецова,
А.В. Сергеев, А.А. Трутс*
**СЕМИСТЕПЕННОЕ ЗАДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ
ОТРАБОТКИ СИЛОМОМЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ
НА ПЛАНЕТНЫМ РОБОТОМ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
m.gook@rtc.ru, igor@rtc.ru, e.kuznecova@rtc.ru,
asergeev@rtc.ru, a.truts@rtc.ru*

Освоение Луны является одной из стратегических целей российской космонавтики. Использование автономного роботизированного лунохода позволит эффективно и безопасно проводить исследования на лунной поверхности, геолого-разведывательные работы, а так же построение отечественной лунной базы. Управление луноходом может осуществляться как в супервизорном режиме для перемещения по поверхности, выполнения типовых операций, так и в ручном режиме для выполнения технологических операций, сопряженные с риском возникновения опасных ситуаций для робота.

Для реализации последнего могут быть использованы семистепенное задающее устройство [1], джойстик «RJo» [2], тактильные задающие устройства «Sensor shirt and gloves» [3]. В статье приведена сравнительная характеристика данных устройств.

Использование семистепенного задающего манипулятора «Дельта» позволит дополнить информационную модель оператора данными о силомоментном взаимодействии управляемого объекта с внешней средой.

1. Kuznetcova, E[lena]; Titov, V[iktor]; Smirnov, E[vgeniy]; Dalyaev, I[gor] & Truts, A[lexander] (2018). Design and Simulation Analysis of Haptic Device With Parallel Kinematics, Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, pp.0636-0644, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-20-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.092.
2. J. Artigas , C. Riecke , B. Weber , M. Stelzer , R. Balachandran , S. Schaetzle , R. Bayer , M. Steinmetz , J. Voegl , B. Brunner , A. Albu-Schaeffer , M. Guk , V. Zaborovskiy , A. Kondratiev , V. Muliukha , A. Silinenko , O. Shmakov. FORCE-FEEDBACK TELEOPERATION OF ON-GROUND ROBOTS FROM THE INTERNATIONAL SPACE STATION IN THE FRAME OF THE «KONTUR-2» EXPERIMENT, Proceedings of the International Scientific and Technological Conference. – Saint-Petersburg: «AP4Print», 2016, pp. 50-56, ISBN 978-5-9909163-3-3.
3. Kinfinity Suit & Glove [Электронный ресурс] / Свободный доступ : <https://event.dlr.de/hmi2018/kinfinity-suit-glove/>, свободный. – Загл. с экрана

ROBOTICS FOR NUCLEAR INDUSTRY / РОБОТОТЕХНИКА ДЛЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Ji Sup Yoon, Youngsoo Choi, Kyung-Min Jeong, Jongwon Park
**RESEARCH WORKS OF EMERGENCY RESPONSIVE
ROBOTS AT KAERI**

*Nuclear Robotics Lab, KAERI, Daejeon, Korea
jsyoon@kaeri.re.kr, yschoi1@kaeri.re.kr,
kmjeong@kaeri.re.kr, jwpark@kaeri.re.kr*

In 2012, the Nuclear Robotics Lab (NRL) of Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) initiated research for an unmanned emergency-response robotics system. To date, it has developed various types of robotics systems based on the NPP (Nuclear Power Plant) maintenance experiences. In this paper, its recent work is introduced, including an all-terrain vehicle (ATV) and a remote controlled forklift, a radiation monitoring drone, a range-gated image (RGI) camera system, and a heavy duty mobile manipulator.

Radiation monitoring system

The NRL of KAERI has proposed a rapid radiation monitoring system [1]. The system comprises an ATV, a drone, and two radiation detectors (Fig. 1). The ATV has been modified for remote control and has excellent speed and adaptability to various types of terrains. Moreover, it can be used to carry the drone to a site to be monitored. The drone is equipped with two radiation detectors, and can measure radiation and send radiation data to a control station or smart phone. The two radiation detectors were designed to have light weight so that they can be carried by the drone. Each detector incorporates both low and high range Geiger Muller counters for wide range measurement. The measuring range of each detector is 10 $\mu\text{Sv/h} \sim 100 \text{ Sv/h}$ and 1 $\mu\text{Sv/h} \sim 100 \text{ Sv/h}$.

Remotely operated forklift

The forklift (Doosan Pro 5) has been modified for remote operation and has a maximum payload of 1.5 tons [2]. Moreover, it has been fitted with seven motors for control of steering, brakes, acceleration, forward/reverse gears, lift, and tilt (Fig. 2). In addition, it has been fitted with two laser range finders, one on each side of the forklift. The forklift can be used to transport heavy objects or to remove debris.

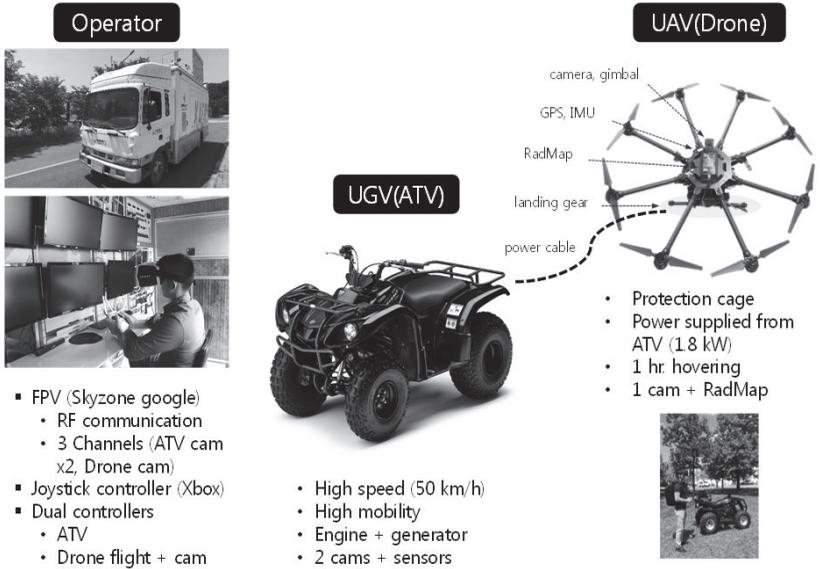


Figure 1 – Remote Accident Monitoring system

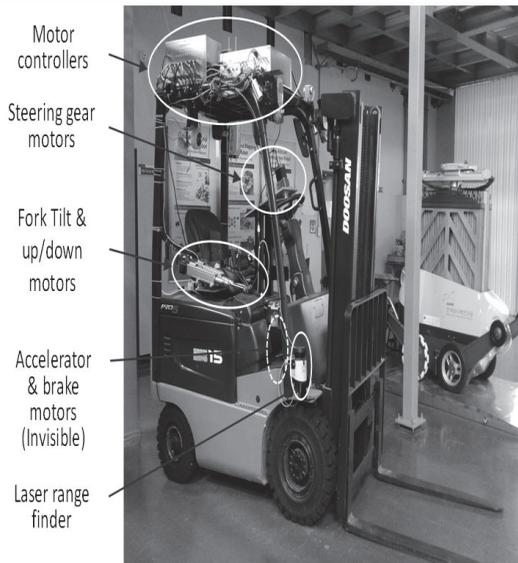
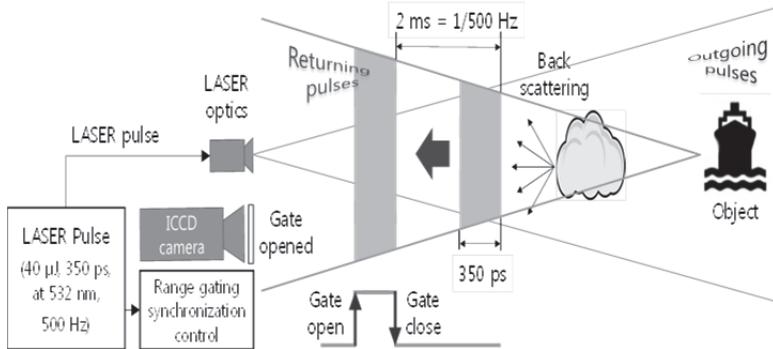


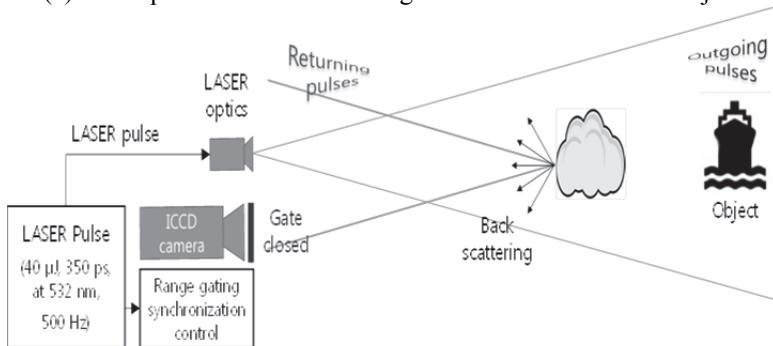
Figure 2 – Remotely operated forklift 1

Range-Gated Imaging Camera

In the event of a loss-of-coolant accident at a nuclear power plant (NPP), visibility inside the reactor containment building of the NPP is likely to be poor due to vaporized water. Visibility in a severe accident scenario is likely to be only in the range of 0.4 ~ 4 m [3].



(a) Gate opened when reflected light returns back from the object



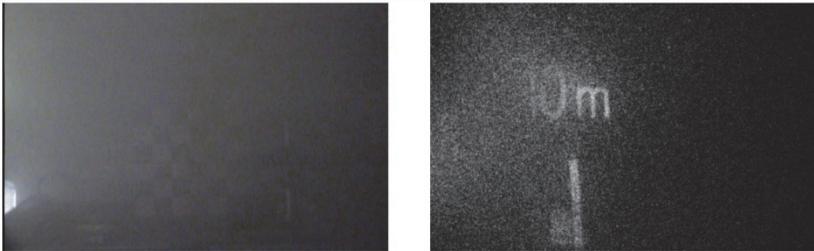
(b) Gate closed when reflected light returns back from the particles located between camera and object

Figure 3 – Operation principle of RGI system

In this study, we sought to utilize RGI technology to obtain visual information in a poor visibility environment. As shown in Fig. 3, the developed RGI camera system uses an ultrashort pulse laser as an illuminator and an intensified CCD (ICCD) camera. Laser light is irradiated to the ‘object to be observed’, and the ICCD camera receives only that light which is returned from the ‘object to be observed’: all other light, such as that reflected from particles or objects unrelated to the ‘object to be

observed', is filtered out. This is achieved by the gate control of the developed RGI camera system, which regulates the opening of the shutter of the ICCD camera at the instant where the returned laser light from the 'object to be observed' reaches the camera. Received light is amplified using the on-board electronics.

A test result of RGI system is shown in Fig. 4. Fig. 4(a) depicts a CCD camera image of the chess board is not visible, even at a distance of 3 m from the camera. On the other hand, a chess board located 10 m ahead from the ICCD is visible (Fig. 4(b)).



(a) CCD camera

(b) ICCD camera

Figure 4 – Image of CCD(a) and ICCD(b) with fog.

1. J. Park and Y. S. Choi, "An Aerial and Ground Monitoring System for Nuclear Accidents," Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, Jeju, Korea, 2017.
2. J. Y. Park, et al., Advanced system establishment for nuclear system integrity, KAERI/TR-6750/2017, 2017.
3. J. W. Cho, Y. S. Choi, and K. M. Jeong, "Verification of Range-Gated Imaging Technology under Dense Aerosol Environments," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 23, No. 7, pp. 606-617, 2017.

Jongwon Park, Young Soo Choi
**HEAVY DUTY DUAL ARM ROBOT FOR
DISASTER RESPONSE**

Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, Korea
jwpark@kaeri.re.kr

Keywords: Heavy duty, dual arm, robot, disaster, response

1. Introduction

An accident in a nuclear facility causes a great social cost. To prevent an unexpected nuclear accident from spreading to the catastrophic disaster, emergency response action in early stage is required. However, high radiation environment has been proved as a challenging obstacle for human workers to access to the accident site and take an action in previous accident cases. Therefore, emergency response robotic technology to be used in a nuclear accident site instead of human workers are actively conducted in domestically and internationally.

Robots in an accident situation are required to carry out a variety of tasks depend on the types and patterns of accidents. An emergency response usually includes removing of debris, make an access road to a certain place and handling valves. These tasks normally involve high payload handling. However existing human-sized robotic manipulators are not appropriate to deal with heavy duty tasks due to the limit of payloads. Thus, a small sized high power robotic manipulator can be an appropriate candidate to deal with a wide spectrum of tasks in an emergency situation.

In this paper, we discuss about the design of a high power robotic manipulator, which is capable of handling high payloads for an initial response action to the nuclear facility accident.

2. Heavy Duty Dual Arm Robot

The size of the robotic arm is an important factor to be utilized in a disaster situation such as nuclear accident. Because most man-made structures are built for human, human-sized robots are ideal for maneuvering freely inside and outside the accident site and handling the tasks performed by workers. In this paper, we propose a robot manipulator with a length of 1 m that simulates the linkage structure of a human arm in order to carry out a disaster response tasks.

The robotic arm should be able to handle heavy loads for various operations required in case of an accident, such as door opening and closing, valve operation, radioactive contamination treatment, and debris removal. Therefore, the robotic arm should be able to produce high power

and large torque in a limited size. In order to implement the size and output conditions mentioned above, we designed the robot based on the hydraulic actuators.

The hydraulic actuators can produce approximately 10 times more output compared to electric motors. In addition, the hydraulic actuators can generate large force and torque without a gear reduction, therefore the structure can be simple. Hydraulic actuators are strong against external forces; thus they are suitable for work requiring large load.

In this study, we designed an eight degree of freedom dual arm robot capable of handling objects over 100 kg.



Figure 1 – Heavy duty dual arm robot, ARMstrong

The linkage structure of the ARMstrong robot was designed by simulating the human body. For mobility, the caterpillar was adopted. The small mobile hydraulic power pack was installed for the operation of the robot. Fig. 1 shows the concept design of ARMstrong (Accident Response Robot).

3. Simulation

The V-REP robot simulator was used to evaluate the characteristics of the designed robot. In the simulator, the robot's work space, joint torque, and control performance were accessed (Fig. 2). In addition, we constructed a virtual nuclear accident environment and conducted the detail work such as door opening and closing, valve operation, debris removal, hull movement, and transfer of radioactive materials.

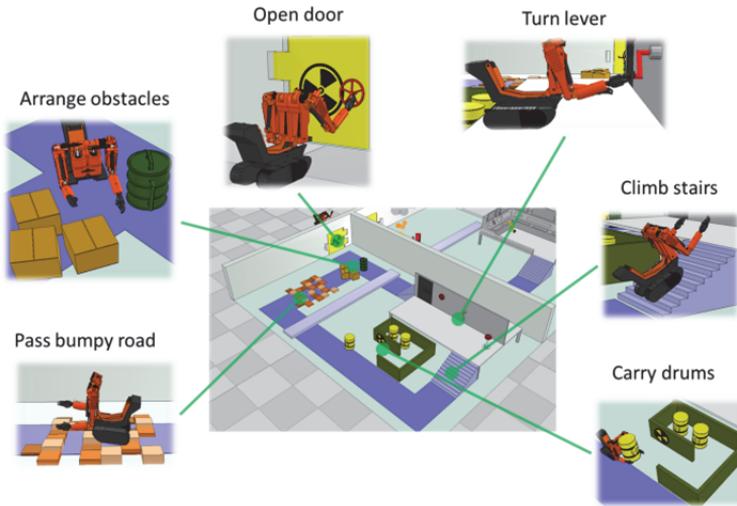


Figure 2 – Armstrong robot simulation in a virtual accident environment

4. Conclusion

In this paper, we discussed about the design and simulation of heavy duty dual arm robot for disaster response in case of a nuclear accident. In the future, detailed design, manufacturing and control system development of robot will be expected.

This paper was supported by the Ministry of Science, ICT & Future Planning.

1. Design of a High Power Robotic Manipulator for Emergency Response to the Nuclear Accidents, Jongwon Park, Yeong-Geol Bae, Myoung Ho Kim and Young Soo Choi, Proceedings of the KNS 2016 Autumn Meeting

V.A. Kozhemyakin
**RADIATION CONTROL EQUIPMENT FOR REMOTELY
PILOTED AIRCRAFTS AND VALIDATION OF
AERO-GAMMA SURVEY RESULTS**

*ATOMTEX Scientific and production unitary enterprise,
Republic of Belarus, Minsk
info@atomtex.com*

The widespread use of small unmanned aerial vehicles (UAVs) for detection of different ground objects stimulated the growing interest in airborne small-sized gamma radiation detectors. The purpose of their application as part of small and mini UAVs is to provide remote radiation monitoring of environment in areas surrounding radiation-hazardous and radiation-sensitive sites.

We offer the range of smart gamma radiation detection units (Detectors) for use with such UAVs capable of performing the following functions, depending on their purpose and active tasks:

- detection of sources of radioactive contamination;
- measurement of radiation levels at flight altitude;
- reduction of the dose rate value measured at the flight altitude to 1-meter level (If altitude of flight above the object surface is available);
- identification of radionuclide composition of contamination by gamma radiation spectra;
- estimation of surface contamination density.

This report presents main technical specifications of sixteen smart gamma radiation detection units available to customers, from which an acceptable variant can be selected according to requirements of maximum payload mass and target application.

By now BDKG-11M, BDKG-24, BDKG-04 and BDKG-211M scintillation detection units have already found their use as part of small UAVs (aircrafts, helicopters, multicopters). This report presents detection units used and recommended for use in assembly with these UAVs, features of radiation monitoring, its advantages and expected results and validation of aero-gamma survey results.

В.А. Кожемякин
АППАРАТУРА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ
ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫХ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ
РЕЗУЛЬТАТОВ АЭРОГАММА-СЪЕМКИ

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
Республика Беларусь, г. Минск
info@atomtex.com*

Широкое распространение малоразмерных беспилотных систем в качестве средств обнаружения разноплановых наземных объектов стимулировало нарастающий интерес к бортовым малогабаритным устройствам детектирования гамма-излучения. Цель их применения в составе малоразмерных и миниатюрных летательных аппаратов – обеспечение дистанционного радиационного мониторинга окружающей среды в зонах, прилегающих к радиационно-опасным и радиационно-чувствительным объектам.

Для использования в составе таких летательных аппаратов предлагается линейка интеллектуальных блоков детектирования (датчиков) гамма-излучения, способная выполнять следующие функции в зависимости от их назначения и решаемых задач:

- обнаруживать источники радиоактивного загрязнения;
- измерять уровни радиации на высоте полета;
- приводить измеренное значение мощности дозы на высоте полета к уровню 1 метр (при наличии информации о высоте полета над поверхностью объекта);
- осуществлять идентификацию радионуклидного состава загрязнения по гамма-спектрам;
- оценивать плотность поверхностного загрязнения.

В докладе приведены основные технические характеристики 16-ти интеллектуальных блоков детектирования гамма-излучения, из числа которых может быть выбран потребителем приемлемый вариант в соответствии с допустимой массой полезной нагрузки и целевым применением.

К настоящему времени сцинтилляционные блоки детектирования БДКГ-11М, БДКГ-24, БДКГ-04, БДКГ-211М уже нашли свое применение в составе беспилотных малоразмерных летательных аппаратов (самолетов, вертолетов, мультикоптеров). В докладе представлены реализованные и рекомендуемые к использованию в их составе блоки детектирования, особенности ведения радиационного мониторинга, его преимущества и ожидаемые результаты, а также оценка достоверности данных аэрогамма-съемки.

V.A. Kozhemyakin
AUTOMATED STANDARD TOOLS FOR
CALIBRATION OF DOSIMETRIC INSTRUMENTS

*ATOMTEX Scientific and Production enterprise,
Minsk, Republic of Belarus
info@atomtex.com*

The present report lists materials related to development and implementation of automated standard calibration dosimetry systems of new generation for calibration of measuring instruments in gamma, beta, neutron and X-ray fields.

The present report describes AT130 and AT110 dosimetric gamma radiation units. They allow transferring units of air kerma and air kerma rate to working and standard measurement instruments, as well as the following dosimetric values: Exposure dose, ambient dose equivalent, personal dose equivalent, and corresponding dose rates.

The report represents AT140 neutron calibration facility designed to transfer units of flux density, ambient and personal dose equivalents of neutron radiation, used to create a field of fast and thermal neutrons in collimated beam, a field of fast neutrons in "open" geometry, and designed for verification and calibration of neutron radiation dosimeters and monitors in laboratory conditions.

The report describes the completion of development of AT300 X-ray calibration facility for creation of X-ray fields as provided by international standards using ISOVOLT 320 M2/4.5-13 X-ray apparatus. This development was preceded by implementation of a similar project for Federal State Unitary Enterprise "D.I.Mendeleyev Institute For Metrology", resulted in UED 5-50M low-energy X-ray radiation calibration unit in Russian state standard GET 8-2011.

AT200 Automated standard dosimetry system for absorbed beta radiation dose control for use as part of the Russian state standard GET 8-2011 has been developed and commissioned in accordance with technical specifications of the Federal State Unitary Enterprise "D.I. Mendeleyev Institute for Metrology." A similar facility has been manufactured and commissioned for the Belarusian State Institute of Metrology as part of the National Standard of the Republic of Belarus with in-house manufacturing, assembly and testing. AT200 has the following main properties: Implementation of a high-precision extrapolation method using a set of Sr-90+Y-90, Pm-147 and Kr-85 beta sources and provides positioning error of less than 2 microns. Automatic source positioning – extrapolation

chamber with an error of less than 50 microns. Leak current of the extrapolation chamber dose not exceed $5 \cdot 10^{-16}$ A.

The report provides information on nuclear physics equipment developed and manufactured by Atomtex for calibration of ionizing radiation fields:

- 1) AT5351 X-ray and gamma radiation dosimeter
- 2) The range of highly sensitive scintillation comparators based on NaI(Tl) detectors and tissue-equivalent plastic to certify photon radiation fields from $0.03 \mu\text{Sv/h}$ with various upper range limits of dose rate and photon energy (up to 10 MeV).
- 3) Smart spectrometric detection unit based on LaBr₃(Ce) scintillator of high energy resolution (less than 3.5%) and 30 keV to 10 MeV energy range, designed to analyze the spectrum of capture gamma radiation from targets irradiated with neutrons at AT140.
- 4) The version of AT1117M Radiation monitor with a spherical moderator and an option to connect a set of Bonner spheres of different diameters.
- 5) In cooperation with the Federal State Unitary Enterprise "D.I. Mendeleyev Institute for Metrology" technical requirements for pulsed photon radiation standards are being prepared.

All the listed equipment is designed to meet the requirements of ISO and IEC standards.

В.А. Кожемякин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЭТАЛОННЫЕ СРЕДСТВА ГРАДУИРОВКИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
г. Минск, Республика Беларусь
info@atomtex.com*

В докладе представлены материалы, касающиеся разработки и внедрения автоматизированных эталонных поверочных дозиметрических установок нового поколения, предназначенных для калибровки средств измерений в полях гамма-, бета-, нейтронного и рентгеновского излучения.

В докладе рассматриваются установки дозиметрические гамма-излучения УДГ-АТ130 и УДГ-АТ110, предназначенные для передачи рабочим и эталонным средствам измерений размеров единиц кермы в воздухе и ее мощности, а также дозиметрических величин:

экспозиционной дозы, амбиентного эквивалента дозы, индивидуального эквивалента дозы и их мощности.

Представлена установка поверочная нейтронная УПН-АТ140, предназначенная для передачи единиц плотности потока, мощности амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения, которая служит для создания поля быстрых и тепловых нейтронов в коллимированном пучке, поля быстрых нейтронов в «открытой» геометрии и предназначена для поверки и градуировки нейтронных дозиметров и радиометров в лабораторных условиях.

Рассказывается о завершении разработки установки поверочной рентгеновского излучения УПР-АТ300, обеспечивающей создание полей рентгеновского излучения в соответствии с национальными и международными стандартами с использованием рентгеновского аппарата ISOVOLT 320 M2/4.5-13. Данной разработке предшествовало выполнение схожего проекта для ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», воплотившегося в составе установки низкоэнергетического рентгеновского излучения УЭД 5-50М Государственного эталона Российской Федерации ГЭТ 8-2011.

В соответствии с техническим заданием ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» разработана и введена в эксплуатацию автоматизированная установка дозиметрическая поглощенной дозы бета-излучения УДБ-АТ200 для использования в составе Государственного эталона Российской Федерации ГЭТ 9-82. Аналогичная установка изготовлена и введена в эксплуатацию для Белорусского государственного института метрологии в составе Национального эталона Республики Беларусь, а также изготовлена, смонтирована и протестирована на предприятии. Основными свойствами установки УДБ-АТ200 являются: реализация высокоточного экстраполяционного метода с использованием набора бета-источников Sr-90+Y-90, Pm-147, Kr-85 с обеспечением погрешности позиционирования менее 2 мкм; автоматическое позиционирование источник – экстраполяционная камера с погрешностью менее 50 мкм; обеспечение тока утечки экстраполяционной камеры не более $5 \cdot 10^{-16}$ А.

В докладе представлена информация о разработанной и созданной предприятием ядерно-физической аппаратуре, используемой для калибровки полей ионизирующего излучения:

- 1) дозиметр рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ5350/1 и ДКС-АТ5351;

- 2) линейка сцинтилляционных высокочувствительных блоков-компараторов на основе NaI(Tl)-детекторов, а также тканеэквивалентной пластмассы, предназначенных для аттестации полей фотонного излучения от 0,03 мкЗв/ч с различной верхней границей диапазона по мощности дозы и энергии фотонов (до 10 МэВ);
- 3) интеллектуальный спектрометрический блок детектирования на основе LaBr₃(Ce)-сцинтиллятора с высоким энергетическим разрешением (менее 3,5 %) и энергетическим диапазоном от 30 кэВ до 10 МэВ, предназначенного для анализа спектра захватного гамма-излучения из мишеней, облучаемых нейтронами на установке УПН-АТ140;
- 4) дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М в новом варианте – со сферическим замедлителем и учитывающем возможность дополнения набором из сфер «Боннера» различного диаметра;
- 5) совместно с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» формируются технические требования к эталонам импульсного фотонного излучения.

Все перечисленное оборудование ориентировано на соответствие требованиям стандартов ИСО и МЭК.

V.A. Kozhemyakin¹, E.V. Bystrov¹, A.N. Novik², P.V. Kuchinsky²
STANDALONE AUTOMATED SYSTEM FOR RADIATION
MONITORING OF ENVIRONMENT

¹*ATOMTEX Scientific and Production enterprise Minsk,
Republic of Belarus, info@atomtex.com*

²*A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems,
Minsk, Republic of Belarus*

The problems of eliminating the consequences of Chernobyl NPP accident and the construction of Belarusian NPP make the developing and deploying an environmental monitoring system [1-3] in the adjacent areas the number one task.

By now we have developed, manufactured and deployed an automated system for radiation and meteorological monitoring of environment near the Belarusian NPP. The system includes 10 Radiation monitoring stations (RMS) and a Response centre (RC).

The RMSs are located in the zone of influence of Belarusian NPP in residential areas of Grodno region and partially of Minsk region: Ostrovets, Gudogai, Oshmyany, Gervyaty, Trokeniki 1, Mikhalishki, Lyntupy, Kemelishki, Naroch and Kotlovka.

The Response centre is located in the Republican centre for hydrometeorology, control of radioactive contamination and environmental monitoring (Minsk).

Radiation monitoring stations communicate with the Response centre over a dual redundancy GSM/GPRS channel. The software communication modules in the RMS exchange information with a remote response centre (RC) over the Internet using various protocols of the TCP/IP stack.

Meteorological parameters are monitored by the WXT-520 weather stations (Finland) installed at the RMS locations.

A distinctive feature of the developed system is the use of a high-sensitive spectrometric detection unit enabling the storage of measured gamma radiation spectra in the Response centre database, automatic identification of radionuclides, as well as recording minor changes in the radiation background.

В.А. Кожемякин¹, Е.В. Быстров¹, А.Н. Новик², П.В. Кучинский²
**НЕЗАВИСИМАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА
РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

¹*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
г. Минск, Республика Беларусь, info@atomtex.com*

²*Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко
Белорусского государственного университета,
г. Минск, Республика Беларусь*

В связи с проблемами ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и со строительством Белорусской АЭС актуальной является задача разработки и развертывания на прилегающих территориях системы радиационного контроля окружающей среды.

К настоящему времени нами разработана, изготовлена и развернута автоматизированная система радиационно-метеорологического мониторинга окружающей среды Белорусской АЭС. Система имеет в своем составе 10 автоматических пунктов измерения (АПИ) и центр реагирования (ЦР).

АПИ размещены в зоне влияния Белорусской АЭС в населенных пунктах Гродненской и частично Минской области: Островец, Гудогай, Ошмяны, Герваты, Трокеники 1, Михалишки, Лынтупы, Кемелишки, Нарочь, Котловка.

Центр реагирования размещен на территории Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Минск).

Канал связи АПИ с ЦР – GSM/GPRS с двойным дублированием. Коммуникационные модули ПО АПИ, производят обмен информацией с удаленным центром реагирования (ЦР) через сеть интернет, используя различные протоколы стека TCP/IP.

Метеорологический мониторинг осуществляется метеостанциями WXT-520 (Финляндия), установленных в местах развертывания АПИ.

Отличительной особенностью разработанной системы является использование в составе АПИ высокочувствительных быстродействующих спектрометрических блоков детектирования гамма-излучения, что позволило накапливать измеренные спектры гамма-излучения в базе данных центра реагирования и производить автоматическую идентификацию радионуклидов, фиксировать малейшие изменения радиационного фона.

M.V. Nosikov
**CONTROL SYSTEM SYNTHESIS OF RADIATION-PROOF
MANIPULATOR MR-48 FOR CHAMBERS**

*Miass branch of South Ural State University
(National Research University),
Miass, Russian Federation
nosikovmv@susu.ru*

Nowadays at nuclear industrial enterprises a lot of activities are performed using mechanical or electro-mechanical manipulators with “master arm – slave arm” (MA-SA) configurations. During the operation, such manipulators are installed on the top sealed chamber cover and relocates tools, devices and technological receptacles with materials by the commands of the operator who is outside of the chamber. The kinematic configuration of the slave arm drives is set by an operator by a mechanical (manual) relocation of a kinematically similar master arm, a manipulator, located at operator zone. A sealed chamber acts as a shield to protect the personnel from radiation exposure. Operator visually checks the process through the chamber front glass window. In addition to the typical requirements for industrial robots (such as carrying capacity, positioning accuracy and service area) there are a number of specific requirements for manipulators working in such extreme environment, the main of which is: high level of protection from radiation fields and the active chemical components inside the sealed chamber. Mechanical and electro-mechanical manipulators have been used in the nuclear industry since the 1970s, have depleted their resource, become morally and physically obsolete, and the manufacturer has stopped the production of both manipulators and spare parts for them. The number of enumerated problems provides the necessity of design and creation of modern manipulator robots for work inside sealed chambers with radioactive and other aggressive media. In 2015–2018 the robotics laboratory of South-Ural State University carried out R&D work which resulted in making a prototype of an intrachamber manipulator robot MR-48 [1,2]. In accordance with the technical requirements (TR), the manipulator has 6-DoF all-revolute joints kinematic configuration equipped with a fingertip gripper having smooth adjustment of its force (Fig. 1). Operator can control manipulator using several modes: “Manual mode”, “Gripper mode”, “Trajectory mode”. In each of these modes operator declines joystick(s) to form the angular velocity of specified joint or linear velocity of end-effector. This is a significant distinction from “master arm – slave arm” configuration, because with joysticks it isn’t possible to directly control the positions (orientations), only velocities (linear or angular) due to

difference in controls and manipulator kinematics. Taking into account the equipment and materials cost, limited chamber workspace, measurement and technological equipment inside chamber, precision nature of the operations and individual perception and tactile characteristics of the personnel, it can be say, that operator training system and training procedures are mandatory to initiate and improve operator skills. Such system proposed as a next step in control system structure (Fig. 2).



Figure 1 – General view of manipulator MR-48 and its control station

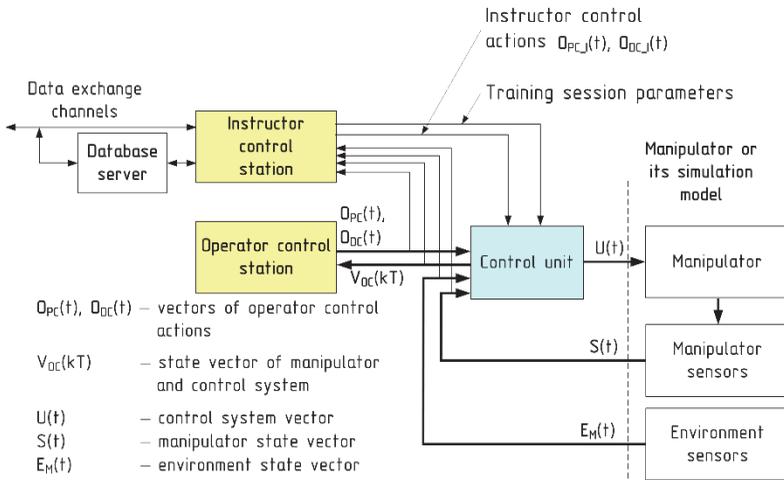


Figure 2 – Structure of the training system

Relatively large distance between control stations and manipulators, imperfection of visibility from control zone form necessity of vision systems usage. Videocameras installed in chambers perform function of general area observation, while cameras installed on manipulator end-effector allow local work zone observation. Special technical solutions such as additional radiation protection and algorithms of manipulator control allow to increase lifetime of vision system.

Key words

Robot-manipulator, control system, ROS, training system, vision system.

1. I.V. Voinov, I.F. Kruglov, B.A. Morozov, A.M. Kazantsev, M.V. Nosikov. Manipulator MR-48 for nuclear industry: patent. №172431 RU, 2016., F42D5/04.
2. I.V. Voinov ; M.V. Nosikov. Automatic and Manual Control Algorithms of Radiation-Proof Ma-nipulators , Proceedings of 2018 Global Smart Industry Conference, IEEE Xplore., DOI:10.1109/GloSIC.2018.8570161.

М.В. Носиков

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИМ МАНИПУЛЯТОРОМ MR-48 ДЛЯ ЗАЩИЩЕННЫХ КАМЕР

*Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Миассе,
г. Миасс Челябинской обл., Российская Федерация
nosikovmv@susu.ru*

Современные многокоординатные робототехнические комплексы (РТК) и манипуляторы с электрическими исполнительными приводами широко используются во многих отраслях промышленности и в большинстве случаев являются высокоавтономными системами. Отдельным классом робототехнических комплексов, мобильных и стационарных манипуляционных систем являются комплексы с участием человека непосредственно в контуре управления. Одной из важнейших сфер применения РТК такого типа является атомная промышленность, где влияние ряда опасных факторов (радиационные поля, химически агрессивная среда и т.д.) и высокая степень вариативности выполняемых операций сочетаются с необходимостью защиты человека от опасных факторов. Оператор выполняет требуемые технологические операции путем механического воздействия и перемещения задающего органа, кинематически подобного исполнительному органу. Контроль выполнения операций

осуществляется путем визуального наблюдения через толстостенное стекло передней стенки камеры.

С целью исключения ряда недостатков, присущих электромеханическим копирующим манипуляторам предлагается ряд технических решений [1, 2] по конструкции и аппаратной реализации исполнительного органа (ИО) робототехнического манипулятора, его системы управления, задающих органов, системы визуализации, программного обеспечения системы. Общий вид разработанного манипулятора МР-48 и его пульта управления приведен на рис. 1.

Для улучшения навыков работы оператора как в обычных условиях эксплуатации, так и при нестандартных режимах работы предлагается подсистема тренажерного обучения, мониторинга и анализа действий оператора как часть программного комплекса системы управления (рис. 2). Выполнение ряда технологических операций с учетом введения штрих-кодовой идентификации лабораторно-технологической тары (пробирок) позволяет применять ряд технических средств системы технического зрения, экспериментальные работы по оснащению МР-48 данной системой.

Вышеприведенный функционал реализуется в виде иерархического построения программных модулей с реализацией эффективных методов межпроцессного обмена. Ключевым фактором построения подобных систем является использование высоконадежных программных систем реального времени.

Разработанный робототехнический комплекс МР-48 обеспечивает выполнение целого ряда функциональных возможностей и является перспективным для замены устаревшего комплекса оборудования.



Рисунок 1 – Общий вид внутрикамерного манипулятора МР-48

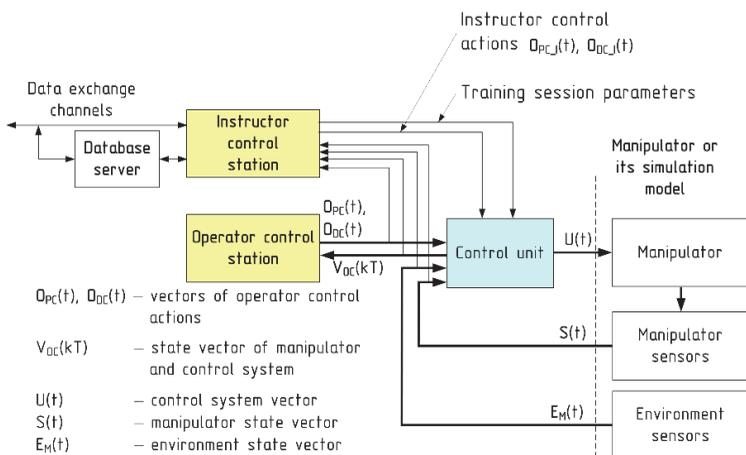


Рисунок 2 – Структурная схема системы тренажерного обучения

Ключевые слова

Робот-манипулятор, система управления, ROS, система тренажерного обучения, система технического зрения.

1. И.В. Войнов, И.Ф. Круглов, Б.А. Морозов, А.М. Казанцев, М.В. Носиков. Манипулятор МР-48 для атомной промышленности: Патент РФ №172431, 2016., F42D5/04.
2. I.V. Voinov, M.V. Nosikov. Automatic and Manual Control Algorithms of Radiation-Proof Manipulators , Proceedings of 2018 Global Smart Industry Conference, IEEE Xplore., DOI:10.1109/GloSIC.2018.8570161.

Jianghai Li¹, V. Promyslov², K. Semenov²
**CYBER-PHYSICAL ASSESSMENT OF USING ROBOTS FOR
SAFETY OPERATIONS OF A NUCLEAR POWER PLANT**

¹*Institute of Nuclear Energy Technology (INET), Tsinghua University,
Beijing, China, lijianghai@tsinghua.edu.cn*

²*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of
Sciences, Moscow, Russia, v1925@mail.ru, semenovk@mail.ru*

Abstract

The paper considers the problem of assessment of digital threats for cyber-physical objects of high operational risk – nuclear power plants (NPPs). An assessment method combining an information model with a simulator of physical processes is suggested. The method supports the integration of smart mobile digital assets (e.g., robots). The method scope matches with the standard template of cybersecurity assessment developed by IAEA.

Keywords: cybersecurity, nuclear power plant, simulator, model, discretionary model, cyber, physical.

The implication of information technologies into the operation of nuclear power plants (NPPs) is steadily growing. The implementation of digital and computer-based instrumentation and controls (I&C) systems had been proceeding slower than in other technological sectors, for example, petrochemistry and transport because of the conservatism, which is inherent to the atomic industry.

However, recently, the process has gathered pace and found acceptance [1,2,3]. A set of factors contributed to it: increased confidence in digital technologies based on the operation experience in the industry; the toughening competition with other power generation systems and the need to implement more complex control algorithms that are difficult to implement with analog technologies; NPP accidents (like Chernobyl and Fukushima). The latter has highlighted the need for cybernetic autonomous and automated devices in NPP critical events when a human cannot be directly on the object.

However, digital technologies, being indispensable for some critical cases or significantly increasing the operational efficiency, have also a negative impact of operational safety of NPPs. The effect appears in new vulnerabilities of NPP— cyber threats. The threats are mostly similar to the informational threats known to the IT-industry, but they have a peculiarity distinguishing it among the pure informational threats. The peculiarity is: a cyberthreat unfolds to the full extent only by influencing the processes that pass directly in the control object, and digital medium is just the carrier to transfer the malicious influence.

To assess threats of that nature and resist them, one has to use not only computer security methods but also some methods developed for nuclear (technological) safety provisioning for NPP. The paper suggests combined usage of information models [4], which describe NPP cybersecurity architecture at different stages of the NPP's life cycle, and a simulator of physical processes within the NPP.

The integrated security model of the NPP digital I&C system includes the information model [4], and the physical simulator model. The simulator model is under development in a frame work of IAEA project [5].

The paper considers the problem of assessment of digital threats for cyber-physical objects of high operational risk (like modern NPPs). We suggest a method based on the consistent application of an informational model combined with a simulator of physical processes in the NPP. The advantages of the method are its comprehensive approach which considers both the attack medium (digital content) and the attack object (the real equipment of NPP) and also transparent integration of smart mobile digital assets (for example, robots) into the model. Existing formal security models and physical simulators can be used as the tools of the method. The scope of every model matches with the standard template of cybersecurity assessment developed by IAEA.

1. Computer Security at Nuclear Facilities Technical Guidance Reference Manual IAEA Nuclear Security Series. – 2011. – N 17.
2. IEC 62645 Nuclear power plants - Instrumentation and control systems - Requirements for security programmes for computer-based systems, Edition 1, IEC. 2014.
3. Babaev, D.I., Poletykin, A.G., Promyslov, V.G., Timofeev, M.Yu. (2018) Managing cyber security safety of APCS of nuclear power plants. Control Sciences, vol. 3, p. 47-55. (in Russian).
4. Promyslov V., Consideration for formal security models in I&C system design . / Proceedings of the 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2015, Rostov on Don). Rostov on Don: IEEE, 2015. C. 188-190.
5. IAEA, Enhancing Computer Security Incident Analysis at Nuclear Facilities <https://www.iaea.org/ru/projects/crp/j02008>.
6. Michael T. Rowland¹, Mislav Findrik, and Paul Smith. Computer Security Incident Response and Analysis for Nuclear Facilities <https://www.energypact.org/wp-content/uploads/2018/03/FindrikMislavAndSmithPaulCaseStudy.pdf>

Д. Ли¹, В.Г. Проmysлов², К.В. Семенков²
**ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
КРИТИЧЕСКИХ РАБОТ НА АЭС**

¹*Институт ядерных технологий (INET), Университет Цинхуа,
Пекин, КНР, lijianghai@tsinghua.edu.cn*

²*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия, v1925@mail.ru, semenkovk@mail.ru*

Аннотация

Рассматривается проблема оценки информационных угроз киберфизическим объектам критически важной инфраструктуры — атомным электростанциям (АЭС). Предложен метод оценки, объединяющий информационную модель с имитатором физических процессов. Метод поддерживает интеграцию интеллектуальных мобильных активов (роботов). Проведено сопоставление области применимости метода со стандартной моделью МАГАТЭ оценки кибербезопасности.

Ключевые слова: кибербезопасность, атомная электростанция, информационная модель, имитатор.

Применение цифровых технологий в процессе эксплуатации атомных станций (АЭС) неуклонно расширяется. Внедрение компьютерных и цифровых средств управления происходило несколько медленней, чем в других технологических отраслях, например нефтехимии, транспорте из-за присущей атомной промышленности консерватизма.

Однако за последнее время данный процесс существенно ускорился и получил признание [1,2,3]. Этому способствовали несколько факторов: возросший благодаря опыту эксплуатации в промышленности уровень доверия к цифровым технологиям; ужесточение конкуренции с другими способами выработки энергии и необходимость реализации более сложных алгоритмов управления, которые трудно реализовать на аналоговой технике; инциденты с АЭС (Чернобыль и Фукусима). Инциденты явно обозначили необходимость применения на АЭС в критических ситуациях, когда человек не может находиться непосредственно на объекте, кибернетических автономных и автоматизированных устройств.

Но цифровые технологии, незаменимые в некоторых критических ситуациях либо существенно повышающие эффективность эксплуатации АЭС, имеют и негативное влияние на безопасность

эксплуатации АЭС. Эта влияние выражено в появлении новых уязвимостей в системе управления и функционирования АЭС – киберугроз. Такие угрозы в существенной мере аналогичны уже известным информационным угрозам, существующим в IT индустрии, но и имеют характерную особенность, отличающую их от чисто информационных угроз. Эта особенность состоит в том, что в полной мере киберугрозы реализуются только посредством влияния на процессы, непосредственно проходящие на объекте управления, а цифровая среда является, в основном, средой переноса злонамеренного воздействия на АЭС.

Для оценки таких угроз и противодействия им нужно использовать не только методы информационной безопасности, но и методы, разработанные для обеспечения ядерной (технологической) безопасности АЭС. В данной работе предлагается совместно применять информационные модели, описывающие архитектуру кибербезопасности АЭС на различных этапах ее жизненного цикла, с физическим имитатором процессов на АЭС.

В качестве информационной модели автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) АЭС используется интегрированная модель безопасности [4], в качестве имитатора — имитатор, разрабатываемые в рамках проекта МАГАТЭ [5].

В работе рассматривается проблема оценки цифровых угроз для киберфизических объектов критически важных объектов инфраструктуры, таких как современные АЭС. Предложен метод, основанный на последовательном применении информационной модели совместно с симулятором физических процессов на АЭС. Достоинством метода является комплексность подхода, при котором рассматривается как среда атаки (цифровой контент) так и объект атаки (реальное оборудование АЭС) а также прозрачность интеграции интеллектуальных мобильных кибернетических активов (например, роботов) в модель. В качестве инструментов можно использовать существующие формальные модели безопасности и физические симуляторы. Для типового шаблона оценки кибербезопасности разрабатываемого МАГАТЭ указана позиция, где применяются каждая из моделей

1. Computer Security at Nuclear Facilities Technical Guidance Reference Manual IAEA Nuclear Security Series. – 2011. – N 17.

2. IEC 62645 Nuclear power plants - Instrumentation and control systems - Requirements for security programmes for computer-based systems, Edition 1, IEC. 2014.
3. Бабаев Д.И., Полетыкин А.Г., Промыслов В.Г., Тимофеев М.Ю. (2018) Управление архитектурой безопасности АСУТП атомных электростанций. Проблемы управления, т. 3, с. 47-55.
4. Promyslov V., Consideration for formal security models in I&C system design . / Proceedings of the 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2015, Rostov on Don). Rostov on Don: IEEE, 2015. С. 188-190.
5. IAEA, Enhancing Computer Security Incident Analysis at Nuclear Facilities <https://www.iaea.org/ru/projects/crp/j02008>.
6. Michael T. Rowland1, Mislav Findrik, and Paul Smith. Computer Security Incident Response and Analysis for Nuclear Facilities <https://www.energypact.org/wp-content/uploads/2018/03/FindrikMislavAndSmithPaulCaseStudy.pdf>

**A.V. Zhukov, V.V. Prikhodko, A.A. Sobolev, E.M. Chavkin,
A.N. Fomin, V.E. Kiryukhin, V.V. Levshchanov**
**A ROBOTIC COMPLEX FOR HOT CELLS AND
A TRAINING SIMULATOR**

*Technological Research Institute of Ulyanovsk State University,
Ulyanovsk, Russia
v_prikhodko@mail.ru*

The results of developing a robotic complex to work in hot cells at nuclear industry enterprises are presented. The robotic complex consists of several original elements: a robotic arm (manipulator), a control device with force feedback, software (see Fig. 1).

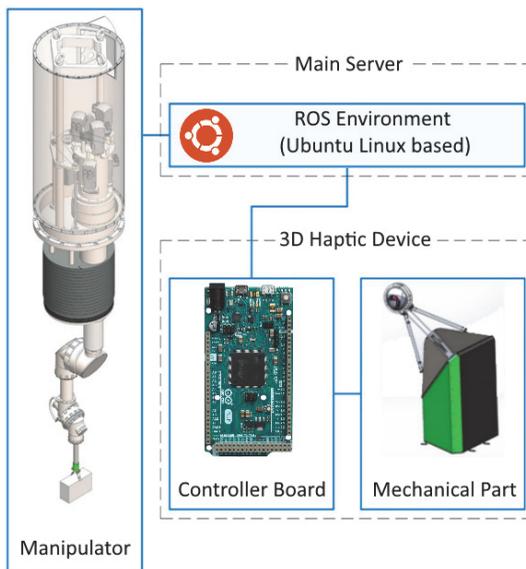


Figure 1 – A generalized diagram of the robotic complex

The manipulator is a 6-DOF robotic arm with a 2-finger gripper having the following features:

1) To ensure high resistance to ionizing radiation, the drives are placed in the base of the robot arm outside the hot cell and are made in the form of separate quick-detachable units.

2) Mechanical transmission of rotational motion from the drive unit to the wave gearbox is implemented through coaxial gear shafts and backlash-free bevel gears to reduce the positioning errors of the robotic arm.

3) Resolvers are used as feedback sensors in drive units. They are the least susceptible to the damaging effects of ionizing radiation in comparison with semiconductor optical encoders.

4) The distance of object movement is the area inside a cubic hot cell with dimensions of 1m x 1m x 1m.

The control device is designed to ensure high ergonomics similar to that of mechanical master-slave manipulators. The platform with a joystick unit can be moved in six degrees of freedom and provides haptic feedback.

The control software has a modular structure and contains both original and the state-of-the-art program components.

In the course of the work, an interactive 3D simulator of the robotic complex in a hot cell has been developed, which has the following functionality:

- detailed correspondence of the model with the technical documentation for the hot cell and the robotic complex;
- ability to view a virtual production site and equipment using a VR headset and/or a monitor;
- implementation of the interaction of objects in a virtual hot cell;
- ability of manual control of a virtual robotic arm using a joystick with haptic feedback.

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project RFMEFI57417X0173.

*А.В. Жуков, В.В. Приходько, А.А. Соболев, Е.М. Чавкин,
А.Н. Фомин, В.Е. Кирюхин, В.В. Левцанов*
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАДИАЦИОННО-
ЗАЩИТНЫХ КАМЕР И ТРЕНАЖЕР-СИМУЛЯТОР**

*Научно-исследовательский технологический
институт им. С.П. Капицы
Ульяновского государственного университета, г. Ульяновск
v_prikhodko@mail.ru*

Представлены результаты разработки роботизированного комплекса для работы в радиационно-защитных камерах (РЗК) на предприятиях атомной отрасли. Роботизированный комплекс состоит из нескольких оригинальных элементов: роботизированная рука-манипулятор, устройство управления с силомоментной обратной связью, программное обеспечение (см. Рис. 1).

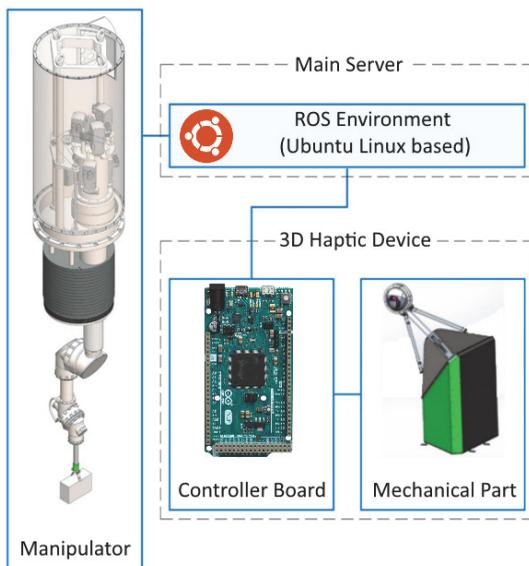


Рисунок 1 – Общая схема робототехнического комплекса

Манипулятор представляет собой роботизированную руку с 6 степенями свободы с двухпальцевым захватом, имеющую следующие особенности:

1) Для обеспечения высокой устойчивости к ионизирующему излучению приводы размещены в основании руки-манипулятора снаружи горячей камеры и выполнены в виде отдельных быстросъемных блоков.

2) Механическая передача вращательного движения от блока привода к волновому редуктору реализована через безлюфтовые конические передачи для снижения погрешностей позиционирования робота-манипулятора.

3) В качестве датчиков обратной связи в блоках-приводах используются резольверы. Они наименее подвержены разрушающему действию ионизирующих излучений в сравнении с полупроводниковыми оптическими энкодерами.

4) Расстояние перемещения объекта – область внутри кубической радиационно-защитной («горячей») камеры с размерами 1 м x 1 м x 1 м.

Устройство управления разработано таким образом, чтобы обеспечить высокую эргономику, аналогичную механическим копирующим манипуляторам. Платформа с блоком джойстика обладает шестью степенями свободы и обеспечивает тактильную обратную связь.

Управляющее программное обеспечение имеет модульную структуру и содержит как оригинальные, так и современные коммерческие и свободные программные компоненты.

В ходе работ над проектом разработана также интерактивный 3D-симулятор робототехнического комплекса в радиационно-защитной камере, реализующий следующий функционал:

- детальное соответствие модели конструкторской документации на РЗК и робот-манипулятор;
- возможность просмотра виртуального производственного участка и оборудования с использованием шлема виртуальной реальности и/или монитора;
- реализация взаимодействия объектов в виртуальной РЗК;
- возможность ручного копирующего управления виртуальным роботом-манипулятором при помощи аппаратного джойстика с обратной связью.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, проект RFMEFI57417X0173.

M.A. Akbarova
**INTEGRATED SAFETY AND LABOR PROTECTION SYSTEM
FOR HAZARDOUS INDUSTRIES**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
m.akbarova@rtc.ru*

The new intelligent manufacturing (smart factory) is a cyber-physical production system (CFPS), which combines four main components:

- mobile smart sensors equipped with built-in technology to interact with each other or with the environment
- means of communication, including the integration of point devices using peripheral computing technology (edge computing)
- cloud application layer that provides semantic links between production data based on the ontological production model
- the new generation terminal devices (smartphones, smartwatches, etc).

One of the main characteristics of CFPS is proactivity, i.e. the ability to form advanced solutions, including anomaly detection. It is obvious that ensuring a trouble-free operation of the CFPS requires the introduction of appropriate means of industrial safety, integrated into an integrated system (ISPS).

ISPS should have the following basic properties:

- traditional stationary sources of alarm and emergency information (detectors, alarms, TV cameras, etc.) should be supplemented with mobile robotic means of monitoring the territory (ground and air). Since the status of each piece of equipment is constantly known in the CFPS, this data must be continuously processed in the ISPS to form an operational map of the danger zones. Means of monitoring the use of personal protective equipment based on technical vision systems should be introduced;

- means of navigation and communication shall provide constant monitoring of movements of personnel and mobile equipment on the basis of technologies of technical vision and radio-frequency identification (RFID);

- at the level of cloud applications should be provided with the formation of an operational map of danger zones in relation to the digital spatial model of the enterprise, multi-criteria analysis of the current situation, forecast and support solutions in terms of industrial safety;

– at the level of terminal devices, special means of informing personnel should be developed. The concept of the device "smart helmet", which, in particular, will provide an operational display of danger zones of various kinds, the supply of warning signals when approaching the employee to the working equipment, the choice of the safest route of movement.

The most popular ISPS on construction sites and outdoor industrial sites, saturated with potentially dangerous or constantly moving equipment.

М.А. Акбарова

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ТРУДА ДЛЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

m.akbarova@rtc.ru

Современное цифровое производство (умная фабрика) представляет собой кибер-физическую производственную систему (КФПС), объединяющую четыре основных компоненты:

– мобильные интеллектуальные датчики, оснащённые встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой

– средства связи, в том числе, обеспечивающие интеграцию точечных устройств с использованием технологии периферийных вычислений.

– уровень облачных приложений, обеспечивающий семантические связи между производственными данными на базе онтологической модели производства

– терминальные устройства нового поколения (смартфоны, умные часы и т.п. гаджеты).

Одной из ключевых характеристик КФПС является проактивность, то есть способность к формированию опережающих решений, включая выявление аномалий. Очевидно, что обеспечение безаварийной работы КФПС требует внедрения соответствующих средств промышленной безопасности, объединенных в интегрированную систему (ИСПБ).

ИСПБ должна иметь следующие основные свойства:

– традиционные стационарные источники тревожной и аварийной информации (извещатели, сигнализаторы, ТВ-камеры и т.п.) должны быть дополнены мобильными роботизированными средствами мониторинга территории (наземными и воздушными). Поскольку в КФПС постоянно известно состояние каждой единицы оборудования (включено, выключено, холостой ход и т.п.), эти данные

должны непрерывно обрабатываться в ИСПБ для формирования оперативной карты зон опасности. Должны быть внедрены средства мониторинга за использованием средств индивидуальной защиты на базе систем технического зрения;

- средства навигации и связи должны обеспечивать постоянный мониторинг перемещений персонала и подвижного оборудования на базе технологий технического зрения и радиочастотной идентификации (RFID);

- на уровне облачных приложений должно быть обеспечено формирование оперативной карты зон опасности в привязке к цифровой пространственной модели предприятия, многокритериальный анализ текущей ситуации, прогноз и поддержка решений в части промышленной безопасности;

- на уровне терминальных устройств должны быть проработаны специальные средства информирования персонала. Предлагается концепция устройства «умная каска», которое, в том числе, будет обеспечивать оперативное отображение зон опасности разного рода, подачу предупредительных сигналов при приближении работника к работающему оборудованию, выбор наиболее безопасного маршрута перемещения.

Наиболее востребована ИСПБ на строительных площадках и открытых промышленных площадках, насыщенных потенциально опасным или постоянно перемещающимся оборудованием.

**MEDICAL ROBOTICS /
МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

Alireza Mirbagheri, Alireza Alamdar, Mehdi Moradi
**INTRODUCING THE SINA_{flex} AS A ROBOTIC TELESURGERY
SYSTEM WITH FLEXIBLE INSTRUMENTS**

*Research Center for Biomedical Technologies & Robotics (RCBTR)
Dept. of Medical Physics and Biomedical Eng., School of Medicine
Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
ar_mirbagheri@yahoo.com*

Abdominal surgery is one of the most areas of surgeries which motivated researchers to practically facilitate its methods through robotic-assisted surgery. Commercially available robots for this area of surgery, play a very important role in this way and nowadays there are more the 4000 installed robotic surgery systems all around the world and surgeons perform near 10% of abdominal surgeries using this kind of technology. However still there are several limitations on the way of using such a technology. The most important is the initial, consumable and maintenance cost of such a technology. Other limitations are lack of force feedback, limitations in design of architecture of surgery and portability of the machine.

This article briefly introduce Sina_{flex} which is a robotic telesurgery system and designed to compete with currently available machines through several advantages at the mentioned limitations of other competitors. The Sina_{flex} can be used for locally performing abdominal surgery operations in an ergonomic posture for surgeon and also remotely through internet or other communication channels. This system has two main subsystems including a master robotic console at the surgeon's side and a slave robotic system at patient's side with two or three surgical robots which are installed on the sides of a specific surgery bed. A robotic cameraman called RoboLens[®] is also integrated into the system to take the intra-abdominal images of the patient and send them to the surgeon's master console. The master robots receive the surgeon's hands movements and transmit them to the patient's side slave robots that mimic the surgeon's hand movements in a real-time manner. Simultaneously, the slave robots measure the robot and patient interaction forces/torques, including the pinch forces under instruments jaws and transmit them to the surgeon's side master robotic system. As a result, all tool-tissue interaction forces are fed backed to the surgeon's hands. The cameraman robot may be controlled through foot pedals from the surgeon's side or smartly track the surgery instruments with no need to any human control command. Other operating room equipment

such as electro surgery device may be also remotely controlled from the surgeon's side master console.

The Sina_{flex} system has a reconfigurable surgery console. Using this system the surgeon may sit behind the surgery console and adjust it for the best ergonomic posture of him/herself. Also for long lasting surgeries which surgeon may prefer to stand during surgery and reduced his fatigue, the console may be pre adjusted and reconfigured to standing posture with special ergonomic parameters of each specific surgeon.

Also, the Sina_{flex} slave subsystem, has a modular design for placement of surgical robots, so surgeons may design their surgery architecture themselves by reconfigure the placement of surgery robots at one side or both side of surgery bed.

Using the Sina system, surgeon may use single or multiple use straight instruments for simple surgeries and also single use flexible instruments for more complex surgeries and through this way they may reduce the cost of surgeries. Figure 1 shows the the Sina_{flex} system. The machine is under animal trials and shortly will start human trials to practically inter to the market of robotic-assisted abdominal surgery.



Figure 1 – The Sina_{flex} robotic telesurgery system

A.V. Kapustin, Y.V. Loskutov, I.A. Kudryavtsev
PROVIDING VERTICAL SUPPORT OF A MEDICAL
EXOSKELETON. PROBLEMS AND TECHNICAL SOLUTIONS

*FSBEI of Higher Education “Volga state university of technology”,
Yoshkar-Ola, Russia*

*KapustinAV@volgatech.net; LoskutovYV@volgatech.net;
KudryavtsevIA@volgatech.net*

One of the major problems when designing a medical exoskeleton is the problem of providing a stable vertical support of human-exoskeleton mechanical system during locomotions. Based on the review of Russian and foreign scientific papers and analysis of unstable positions, the present work suggests possible ways to solve this problem.

The paper contains design and technical solutions to provide support; ways based on the control processor algorithm, models based on equilibrium principle of an unstable inverted pendulum with one or two links [1]. To provide different ways for the implementation of balance maintenance system, there have been identified basic criteria which maintain the balance. Examples which illustrate different ways to provide balance are also given. There have been introduced applied design solutions and principles which will prevent the human-exoskeleton system from turning over. The problems which have a difficult solution and are still to be solved are stated.

A prototype of a medical exoskeleton has been introduced. It has been designed within a project called “Design of a high-tech manufacturing of a multifunctional robotic medical exoskeleton (“REM”)”. For the prototype, there have been set further steps on the improvement of the human-exoskeleton system stability.

1. Formalsky, A.M. Control of the motion of unstable objects. – M.: FIZMATLIT. 2012. – 232 p. – ISBN 978-5-9221-1460-8.
2. Kapustin, A.V., Loskutov Y.V., Belogusev V.N., Ways to provide stable position of a medical exoskeleton designed for rehabilitation purposes while walking // Bulletin of Volga state university of technology. Section: Materials. Constructions. Technology. 2018. № 4. 11 p.

А.В. Капустин, Ю.В. Лоскутов, И.А. Кудрявцев
ПОДДЕРЖАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ЭКЗОСКЕЛЕТА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.
ПРОБЛЕМЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
KapustinAV@volgatech.net; LoskutovYV@volgatech.net;
KudryavtsevIA@volgatech.net

Одной из проблем проектирования экзоскелетов медицинского назначения является проблема поддержания устойчивого вертикального положения механической системы человек-экзоскелет при воспроизведении локомоций. На основе обзора отечественной и зарубежной литературы, анализа неустойчивых состояний в работе рассмотрены возможные варианты решения проблемы.

Приводятся: конструктивные и технические решения поддержки; способы, основанные на алгоритме работы управляющего процессора; модели, основанные на принципе равновесия неустойчивого перевернутого маятника с одним и двумя звеньями [1]. Для различных способов реализации системы поддержки равновесия выделены основные критерии, за счет которых происходит поддержание баланса. Приведены примеры различных вариантов обеспечения равновесия. Представлены применяемые конструктивные решения и принципы реализации противодействия опрокидыванию системы человек-экзоскелет. Сформулированы проблемы, которые имеют сложное решение и являются нерешенными на сегодняшний день.

Представлен опытный образец экзоскелета медицинского назначения, выполненный в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»»). Для опытного образца экзоскелета определены дальнейшие направления исследований по повышению устойчивости системы человек-экзоскелет.

1. Формальский А.М. Управление движением неустойчивых объектов. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2012. – 232 с. – ISBN 978-5-9221-1460-8.
2. Капустин А.В., Лоскутов Ю.В., Белогусев В.Н. Способы поддержания устойчивого положения реабилитационного экзоскелета медицинского назначения при ходьбе // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018. № 4. 11 с.

Y.V. Loskutov, A.V. Kapustin, I.A. Kudryavtsev
RATIONALE FOR ENERGY EQUIVALENT DURABILITY TESTS
OF A MEDICAL EXOSKELETON

*FSBEI of Higher Education “Volga state university of Technology”,
Yoshkar-Ola, Russia*

*LoskutovYV@volgatech.net, KapustinAV@volgatech.net,
KudryavtsevIA@volgatech.net*

The process of product development and manufacturing includes pretesting of the prototypes to analyze the compliance of a developed product with the requirements of work specification including reliability requirements. Durability tests define the level of product reliability. While refining the product design, it is necessary to conduct laboratory tests to check the reliability of the durability tests. These tests are conducted to define and evaluate the useful service lives both of the product and its elements. They are performed by the product developer. Besides, they are included in acceptance and periodic tests before and during the process of its manufacturing according to the purpose of the product.

The exoskeleton is used to increase the possibilities of an able-bodied person as well as to provide assistance for those suffering from muscle-skeleton disorders [1]. Before launching the production of the exoskeleton, it is necessary to perform durability tests. The tests check the parameters given in the design specifications, find out drawbacks and defects of produced nodes, errors in the operation algorithm of electromechanical parts and the processor. Testing under normal conditions of operation (walking, bending at the knees) is dangerous for a user and requires a lot of space and man-hours of operators and assistants looking after the balance and reliability of the human-exoskeleton system (or a man-simulator). Therefore, the relevance of the work results from the necessity to develop steady state methods for exoskeleton testing which would let reconstruct different operation cycles including those in the augmented rating without any spatial motion.

The aim of the work is to evaluate the possibilities and give reasons to perform tests of electromechanical parts of the rehabilitation exoskeleton drive on the stationary bicycle.

The work contains the calculations of the equivalence of energy indicators of exoskeleton operation modes with a man-simulator while cycling on the stationary bicycle and walking. Equivalence criteria of motions in the joints are accepted as the following: RMS torque

$$M_{\text{эке}} = \sqrt{\frac{\sum t_i M_i^2}{\sum t_i}}, \text{ Nm, equivalent power } P_{\text{эке}} = \sqrt{\frac{\sum t_i P_i^2}{\sum t_i}}, \text{ W, average}$$

cycle frequency between the links $n_{cp} = \frac{\sum t_i n_i}{\sum t_i}$, cycles per second.

The results of the calculations are:

– Comparison of indicators of basic parameters of locomotions (walking, standing up and bending the knees, cycling [2-5]) gives insignificant difference between the biggest equivalent moments, middle interlink cycle frequencies and equivalent powers in the joints at similar energy consumption.

– According to the energy consumption, the operation modes of the exoskeleton with the man-simulator inside, the locomotions (walking, standing up and bending the knees, cycling) can be equivalent in the suitable choice of the motion parameters.

– The use of the stationary bicycle to test the reliability of the exoskeleton can be quite acceptable.

1. Kapustin A.V., Loskutov Y.V., Skvortsov D.V., Nasybullin A.R., Klyuzhev K.S., Kudryavtsev A.I. Circuit design solutions of the control system of the rehabilitation exoskeleton used for medical purposes // Bulletin of Volga state university of technology. Section: Radio technical and IT systems. 2018. № 2 (38). P. 77-86.
2. Winter, David A., Biomechanics and motor control of human movement / David A. Winter. – JOHN WILEY & SONS, INC., 2009 – 370 p.
3. Beletsky, V.V. Biped gate: model tasks of dynamics and control. – M.: Nauka, 1984. – 288 p.
4. Lyubovitsky, V.P. Racing bicycles. – L.: Mashinostroenie, 1989. – 319 p.
5. Turlapov, R.N. Models and algorithms to control the motion of an exoskeleton for vertical orientation and improvement of functional abilities of a human // doctoral thesis in Science. - Kursk: FSBEI of HE “South-west state university”. – 2015. – 172 p.

Ю.В. Лоскутов, А.В. Капустин, И.А. Кудрявцев
ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ
РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭКСОСКЕЛЕТА
МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» г. Йошкар-Ола,
LoskutovYV@volgatech.net, KapustinAV@volgatech.net,
KudryavtsevIA@volgatech.net*

Процесс разработки и постановки изделия на производство включает в себя проведение предварительных испытаний опытных образцов с целью анализа соответствия разрабатываемого изделия требованиям технического задания, в том числе требованиям надежности. Ресурсные испытания определяют уровень надежности изделия. Эти испытания проводят для определения или оценки технического ресурса как изделия в целом, так и отдельных его элементов. Они выполняются разработчиком изделия, также они входят в приемочные и периодические испытания при постановке изделия на производство и дальнейшем его производстве. и самостоятельно, и в ходе периодических или приемочных испытаний в зависимости от назначения изделий.

Экзоскелет используется как для увеличения возможностей здорового человека, так и для помощи больным с нарушениями опорно-двигательного аппарата [1]. При запуске экзоскелета в производство необходимы его ресурсные испытания. В процессе испытаний проверяют параметры, предусмотренные техническим заданием на проектирование, выявляют недостатки и погрешности изготовления узлов, ошибки алгоритма работы электромеханической части и работы процессора. Проведение испытаний в штатном режиме эксплуатации (ходьба, присед) опасно для оператора, требует больших помещений и затрат человеко-часов операторов, ассистентов, следящих за балансом равновесия и безотказностью систем человек-экзоскелет (или весовой манекен-экзоскелет). Поэтому актуальность работы обусловлена необходимостью разработки стационарных методик испытаний экзоскелета, позволяющих эквивалентно воссоздать различные циклы работы, в том числе в форсированном режиме, исключающих перемещение в пространстве.

Цель работы – оценка возможности и обоснование испытаний электромеханических частей привода реабилитационного экзоскелета медицинского назначения (РЭМ) на велостенде.

В работе выполнено расчетное обоснование эквивалентности по энергетическим показателям режимов работы экзоскелета с весовым манекеном при педалировании на велотренажере и ходьбе с

пациентом. Критериями эквивалентности движений в шарнире принимается: среднеквадратичный момент $M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum t_i M_i^2}{\sum t_i}}$, Нм,

эквивалентная мощность $P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum t_i P_i^2}{\sum t_i}}$, Вт, средняя частота оборотов

между звеньями $n_{\text{ср}} = \frac{\sum t_i n_i}{\sum t_i}$, об/с.

По результатам расчетного обоснования сделаны выводы:

– Сопоставление значений основных параметров локомоций (ходьба, вставание-присед и велопедальирование [2 - 5]) дает небольшие расхождения наибольших эквивалентных моментов, средних межзвенных частот оборотов и эквивалентных мощностей в шарнирах при сопоставимых энергозатратах.

– По энергетическим показателям режимы работы экзоскелета с весовым манекеном локомоции (ходьба, вставание-присед и велопедальирование) вполне могут быть эквивалентны при соответствующем выборе параметров движений

– Использование велотренажера для проведения испытаний на надежность экзоскелета вполне может быть допустимо.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»)», шифр 2017-218-09-1807, утверждённого по постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.

1. Капустин А.В., Лоскутов Ю.В., Скворцов Д.В., Насыбуллин А.Р., Ключев К.С., Кудрявцев А.И. Схемные решения системы управления реабилитационным экзоскелетом медицинского назначения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2018. № 2 (38). С. 77-86.
2. Winter, David A., Biomechanics and motor control of human movement / David A. Winter. – JOHN WILEY & SONS, INC., 2009 – 370 p.
3. Белецкий, В.В. Двухногая ходьба: модельные задачи динамики и управления. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
4. Любовицкий В.П. Гонимые велосипеды.- Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 319 с.
5. Турлапов Р.Н. Модели и алгоритмы управления движением экзоскелета для вертикализации и расширения функциональных возможностей человека // Рук. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - Курск: ФГБОУ ВО «Юго-Запад. гос. ун-т». – 2015. – 172 с.

I.A. Kudryavtsev
**ROBOTIZED REHABILITATION COMPLEX WITH
BIOFEEDBACK FOR UPPER EXTREMITIES**

*FSBEI of the "Volga State University of Technology", Yoshkar-Ola, Russia
KudryavtsevIA@volgatech.net*

The robotized complex of rehabilitation for upper extremities with biofeedback is an exoskeleton of a medical type, i.e. equipment used for the rehabilitation of the disabled people and can be used to set the desired trajectories of the patient's arms with motor disabilities. In this case, the method of rehabilitation of upper extremities is based on the use of the musical instrument «Theremin».

In the process of rehabilitation, biofeedback (BFB) is established between the patient's movements and his mind, which encourages the patient to learn how to play a musical instrument as well as develops his creative abilities. The exoskeleton helps the patient to play a predetermined melody and the degree of participation of the exoskeleton is inversely proportional to the degree the patient's recovery in the rehabilitation process. When the rehabilitation is completed, the patient is given an opportunity to independently create a melody without an exoskeleton.

Such an exoskeleton is able to improve the quality of rehabilitation of patients with impaired motor functions of hands through the use of audio biological feedback when performing motion with music produced by "Theremin" controlled by the patient's movements with the help of an exoskeleton.

1. Machenin, A.A. Multimedia, art-preventive and educational non-verbal cyber environment of music and physics of the great L.S.Termen. Media Education. Media Education. 2015 № 3.
2. Bogdanov, A.A. and others. Remote manipulator. Pat RU 125508. Publ. 03/10/2013 Bull. №7.

И.А. Кудрявцев
**РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС РЕАБИЛИТАЦИИ
ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ
СВЯЗЬЮ**

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
технологический университет», г. Йошкар-Ола
KudryavtsevIA@volgatech.net*

Роботизированный комплекс реабилитации верхних конечностей с биологической обратной связью представляет собой экзоскелет, который относится к медицинской технике, в частности к техническим средствам реабилитации инвалидов и может быть использован для задания желаемых траекторий движения рук пациента с нарушениями их функций. При этом способ осуществления реабилитации верхних конечностей основывается на применении музыкального инструмента «Герменвокс».

В процессе реабилитации между движениями пациента и его сознанием устанавливается биологическая обратная связь (БОС), побуждающая пациента научиться играть на музыкальном инструменте, а также развивающая его творческие способности. Экзоскелет помогает пациенту в воспроизведении заранее определенной мелодии, причем степень участия экзоскелета обратно пропорциональна степени восстановления пациента в процессе реабилитации. По завершению реабилитации пациенту предоставляется возможность самостоятельно создавать мелодию без участия экзоскелета.

Такой экзоскелет способен повысить качество реабилитации пациентов с нарушением двигательных функций рук за счет использования аудиобиологической обратной связи при выполнении двигательных упражнений с музыкальным сопровождением, формируемым «Герменвоксом», управляемым движениями пациента при помощи экзоселета.

1. Маченин А.А. Мультимедийная, художественно-профилактическая и образовательно-интеграционная невербальная киберсреда музыки и физики великого Л.С.Термена. Медиаобразование. MediaEducation. 2015№ 3.
2. Богданов А.А. и др. Дистанционный манипулятор. Пат. RU 125508. Оpubл. 10.03.2013 Бюл. №7.

M.D. Solovyova
**EXOSKELETT WITH PARALLEL STRUCTURE FOR PATIENTS
WITH DISTURBANCES OF LOWER EXTREMITIES**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Volga State University of Technology», Yoshkar-Ola, Russia
masha_ru94@mail.ru*

According to expert estimates, the number of consumers of rehabilitation products is more than 60 million people, including the disabled, elderly, children, people injured and undergoing the rehabilitation and recovery period. [one]

The Government of the Russian Federation has approved the Development Strategy for the production of industrial products of a rehabilitation orientation until 2025.

Currently, medical exoskeletons are used for the rehabilitation of patients with disorders of the musculoskeletal system. The main problem today is to ensure the sustainability of the exoskeleton when performing a motor act. The paper provides solutions to this problem.

The purpose of this work is to develop and analyze an effective way to solve the problem of ensuring the stability of the exoskeleton during the reproduction of locomotion.

The proposed method is carried out with the use of parallel right and left legs, with additional drives installed in place of the hip joints.

When the exoskeleton's right leg moves, the left parallel leg makes equal angular movement in the opposite direction to balance the moments. A similar cycle of movements is repeated for the left leg.

Also in the work considered a mathematical model, algorithms for controlling the movements of an exoskeleton with a parallel structure and presents the main results of the work.

1. Recommendations of the Council for Persons with Disabilities under the Council of Federation of the Federal Assembly of the Russian Federation [Electronic resource] // The official website of the Council of the Federation - Access Mode: <http://council.gov.ru/media/files/fDqG0zASJNAALmOjQoiE96H3APp4ivlh.pdf>
2. Kapustin A.V., Loskutov Yu.V., Kudryavtsev I.A., Belogusev V.N. / Ways to maintain a stable position of a rehabilitation exoskeleton for medical purposes when walking // Bulletin of the Volga State University of Technology. Ser. : Materials. Constructions. Technology. - 2018. - № 3 (7). - p. 44-54.

М.Д. Соловьева
**ЭКЗОСКЕЛЕТ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ
ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЯМИ ФУНКЦИЙ НИЖНИХ
КОНЕЧНОСТЕЙ**

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет» г. Йошкар-Ола
masha_ru94@mail.ru*

По экспертным оценкам, число потребителей реабилитационной продукции составляет свыше 60 млн. человек, включая инвалидов, пожилых граждан, детей, людей, получивших травму и проходящих реабилитационно-восстановительный период. [1]

Правительством РФ утверждена Стратегия развития производства промышленной продукции реабилитационной направленности до 2025 года.

В настоящее время для реабилитации пациентов с нарушениями функций опорно-двигательной системы применяются экзоскелеты медицинского назначения. Основной проблемой на сегодняшний день является обеспечение устойчивости экзоскелета при совершении двигательного акта. В работе приведены варианты решения данной проблемы.

Целью данной работы является разработка и анализ эффективного способа решения задачи обеспечения устойчивости экзоскелета при воспроизведении локомоций.

Предложенный способ осуществляется с помощью применения параллельных правых и левых ног, имеющие дополнительные приводы, установленных на месте тазобедренных суставов.

При движении правой ноги экзоскелета, левая параллельная нога для уравнивания моментов совершает равное угловое перемещение в противоположную сторону. Аналогичный цикл движений повторяется для левой ноги.

Так же в работе рассмотрена математическая модель, алгоритмы управления движениями экзоскелета с параллельной структурой и представлены основные результаты работы.

1. Рекомендации Совета по делам инвалидов при Совете Федерации Федерального Собрания Российской Федерации [Электронный ресурс] // Официальный сайт Совета Федерации – Режим доступа: <http://council.gov.ru/media/files/fDqG0zASJNAALmOjQoiE96H3APp4ivlh.pdf>
2. Капустин А.В., Лоскутов Ю.В., Кудрявцев И.А., Белогусев В.Н. / Способы поддержания устойчивого положения реабилитационного экзоскелета медицинского назначения при ходьбе // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 3(7). – С. 44-54.

**I.A. Kagirov¹, A.A. Karpov¹, I.S. Kipyatkova¹,
K.S. Klyuzhev², A.I. Kudryavtsev²,
I.A. Kudryavtsev², D.A. Ryumin¹**
**CONTROL OF A ROBOTIC MEDICAL
EXOSKELETON THROUGH AN
INTELLECTUAL INTERFACE**

¹*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian
Academy of Sciences (SPIIRAS), St. Petersburg, Russia*

²*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia
karpov@ias.spb.su*

This paper presents an intelligent human-machine interface designed to control the medical robotic lower limbs exoskeleton “Remotion” [1]. This bimodal interface combines tools of contactless voice control, as well as touch-based control tools.

The developed multifunctional robotic medical exoskeleton “Remotion” is designed for rehabilitation of patients with impaired lower limbs, and also can be used as an individual tool of movement for patients with partially or completely lost functions of the lower limbs.

At the moment, two ways of interaction between the user and the exoskeleton are implemented within the interface: touch-based and voice-based. The first way involves the use of a wired control panel equipped with a graphical user interface (GUI) based on a touchscreen smartphone. The second approach presupposes an automatical recognition of voice commands in Russian.

Patients who are about to start a rehabilitation course are not always able to perform a certain movement on their own, therefore, to control the exoskeleton via GUI or voice commands is the only way to perform the movements.

Voice input of particular commands significantly increases the level of naturalness and efficiency of contactless control of the exoskeleton. Intelligent voice control is more preferable when choosing from a relatively small number of commands available for executing, due to its speed and convenience (pronouncing a command is always easier than finding and pressing the corresponding button). In the course of rehabilitation, the patient makes certain efforts to perform certain exercises, therefore, touch control may deflect his attention and adversely affect his concentration.

Improving ergonomics by introducing an additional modality could allow the use of similar devices in everyday life in the future, and not only in medical institutions.

The following conclusions can be drawn as the result of the study:

- 1) Exoskeleton Remotion is distinguished, first of all, by the presence of an intelligent user interface, which can significantly improve the ergonomics of the exoskeleton;
 - 2) The use of several channels of information exchange with the user (multimodal interface) increases the naturalness of the user interaction with the exoskeleton, improving the quality of the device;
 - 3) A combination of intelligent control methods, namely, voice commands, touch controls, the presence of voice and visual prompts significantly increases the security level of the user when using the exoskeleton;
 - 4) A prototype of the exoskeleton neurocomputer control module (neurointerface) is currently at the development stage, the existing similar developments are relevant in the development of assistive exoskeleton for paralyzed people.
1. Kapustin A.V., Loskutov J.V., Skvortsov D.V., Nasybullin A.R., Klyuzhev C.S., Kudryavtsev A.I. Circuit solutions for the control of a medical rehabilitation exoskeleton // Vestnik Povolzhskogo Gosudarstvennogo Texnicheskogo Universiteta. 2018. № 2 (38). P. 77–86. [in Russian]

*И.А. Кагиров¹, А.А. Карнов¹, И.С. Кипяткова¹,
К.С. Ключев², А.И. Кудрявцев²,
И.А. Кудрявцев², Д.А. Рюмин¹*

**УПРАВЛЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫМ МЕДИЦИНСКИМ
ЭКЗОСКЕЛЕТОМ ПОСРЕДСТВОМ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИНТЕРФЕЙСА**

*¹ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и
автоматизации РАН (СПИИРАН), Санкт-Петербург
²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет» (ФГБОУ ВО ПГТУ), Йошкар-Ола
karpov@iias.spb.su*

В настоящей статье описывается интеллектуальный человеко-машинный интерфейс для управления роботизированным экзоскелетом медицинского назначения Remotion [1].

Разработанный многофункциональный роботизированный экзоскелет медицинского назначения Remotion – это экзоскелет, предназначенный для реабилитации пациентов с нарушениями функций нижних конечностей, повышения двигательной активности пациентов с частично или полностью утраченными функциями нижних конечностей, а также для использования в качестве индивидуального средства передвижения пациентов с частично или полностью утраченными функциями нижних конечностей.

На данный момент в бимодальной системе управления реализованы два способа взаимодействия с экзоскелетом: сенсорный и голосовой. Первый способ заключается в применении проводного пульта управления, снабженного графическим интерфейсом пользователя (GUI) на базе смартфона с сенсорным экраном. Второй вариант состоит в автоматическом распознавании управляющих голосовых команд, произносимых пользователем на русском языке.

Пользователи-пациенты, только начинающие курс реабилитации, не всегда способны выполнить определенное движение самостоятельно, поэтому управление экзоскелетом оказывается единственным способом выполнения движений.

Голосовой ввод отдельных команд существенно повышает естественность и эффективность бесконтактного управления экзоскелетом. Интеллектуальное голосовое управление оказывается более предпочтительным в условиях выбора из сравнительно небольшого количества команд, доступных для выполнения, благодаря скорости и удобству (произнесение команды всегда проще, чем поиск и нажатие соответствующей виртуальной кнопки на сенсорном экране пульта). Кроме того, при прохождении курса реабилитации пациент прилагает определенные усилия для выполнения тех или иных

упражнений, поэтому необходимость отвлекаться на сенсорное управление может негативным образом сказаться на его концентрации. Улучшение эргономики за счет введения дополнительной модальности в дальнейшем позволит пользоваться подобными устройствами в повседневной жизни, а не только в медицинских учреждениях или под присмотром врачей.

По результатам данных разработок и исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) экзоскелет Remotion отличается, в первую очередь, наличием интеллектуального интерфейса пользователя, что позволяет существенно улучшить эргономику экзоскелета;
 - 2) использование нескольких каналов обмена информацией с пользователем (многомодальный интерфейс) повышает естественность взаимодействия пользователя с экзоскелетом, повышая качество работы устройства;
 - 3) сочетание способов интеллектуального управления, а именно, голосовых команд, сенсорного управления, наличие голосовых и визуальных подсказок существенно повышает уровень безопасности пользователя при использовании экзоскелетом;
 - 4) на стадии разработки в настоящее время находится прототип модуля нейрокомпьютерного управления экзоскелетом (нейроинтерфейс), существующие подобные разработки являются актуальными в сфере разработки ассистивных экзоскелетов для парализованных людей.
1. Капустин А.В., Лоскутов Ю.В., Скворцов Д.В., Насыбуллин А.Р., Ключев К.С., Кудрявцев А.И. Схемные решения системы управления реабилитационным экзоскелетом медицинского назначения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. 2018. № 2 (38). С. 77–86.

V.M. Vlasenko, S.R. Orlova, A.V. Bakhshiev
**REVIEW OF MODERN METHODS OF SEGMENTATION
OF MEDICAL IMAGES**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
s.orlova@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

There are several segmentation tasks for medical images: MRI, CT, ultrasound and X-ray, for example, the selection of organs, tissues and tumors in the images. There are many images per patient. Processing, including manual segmentation, is a time-consuming process. Due to the growing computational capabilities of technology, it has become possible to create algorithms that can significantly speed up the process of segmentation of medical images while possessing good quality work.

Although such algorithms already exist, they continue to actively develop, new methods and results of experiments appear.

The following methods of segmentation of general-purpose images can be distinguished [1,2]:

- threshold segmentation;
- edge segmentation;
- region-based segmentation;
- segmentation methods based on the division and integration of areas;
- segmentation by watersheds;
- methods based on partial differential equations (PDE);
- segmentation methods using neural networks.

The threshold segmentation method is not suitable for solving the problem of high-quality segmentation of medical images, because it has very specific conditions for its work: an object against an almost uniform background. The marginal method may fail, since biomedical images have a lot of noise and a lot of borders, and sometimes vice versa, the borders of the desired objects are too blurred. This is also true for watersheds methods.

Methods based on regions, clustering and based on PDE can be suitable for pre- and post-processing, they can also be tested as independent segmentation methods, in order to compare with them the results of the methods of interest.

Atlases are poorly suited for small objects, but at the same time large ones show acceptable results.

Segmentation methods using convolutional neural networks [3-5] should be specified as the most promising general-purpose methods.

Neural network methods have good speed and quality. This group of methods is most effective for image segmentation. Classical methods can also be implemented to compare with them the results of the work of methods based on in-depth training or as pre- and post-processing results.

The most popular neural network architectures for biomedical image segmentation tasks are U-net based architectures. Also in recent years, residual connection and recurrent blocks, three-dimensional convolutions have been used in the development of architectures.

1. H. G. Kaganami and Z. Beij, "Region Based Detection versus Edge Detection", IEEE Transactions on Intelligent information hiding and multimedia signal processing, pp. 1217-1221, 2009.
2. H.P. Narkhede, "Review on Image Segmentation Techniques" International Journal of Science and Modern Engineering, Vol 1, Issue 8, July 2013.
3. S. Inderpal and K. Dinesh, "A Review on Different Image Segmentation Techniques", IJAR, Vol.. 4, April, 2014.
4. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G.E.: Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In: NIPS. pp. 1106-1114 (2012)
5. Ciresan, D.C., Gambardella, L.M., Giusti, A., Schmidhuber, J.: Deep neural networks segment neuronal membranes in electron microscopy images. In: NIPS. pp. 2852-2860 (2012)
6. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas Brox U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. arXiv:1505.04597
7. Wanli Chen, Yue Zhang, Junjun He, Yu Qiao, Yifan Chen, Hongjian Shi, Xiaoying Tang Prostate Segmentation using 2D Bridged U-net. arXiv:1807.04459
8. Haozhe Jia, Yang Song, Donghao Zhang, Heng Huang, Dagan Feng, Michael Fulham, Yong Xia, Weidong Cai 3D Global Convolutional Adversarial Network for Prostate MR Volume Segmentation. arXiv:1807.06742
9. B.B. Avants,, C.L. Epstein, M. Grossman, J.C. Gee Symmetric diffeomorphic image registration with cross-correlation: Evaluating automated labeling of elderly and neurodegenerative brain. DOI: 10.1016/j.media.2007.06.004.

В.М. Власенко, С.Р. Орлова, А.В. Бахшиев
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ
МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
s.orlova@rtc.ru, alexab@rtc.ru

Существует ряд задач сегментации медицинских снимков: МРТ, КТ, УЗИ и рентгеновских, например, выделение органов, тканей и опухолей на снимках. На одного пациента приходится множество изображений. Обработка, в том числе и сегментация снимков вручную является затратным по времени процессом. Ввиду растущих вычислительных возможностей техники стало возможным создание алгоритмов, которые могут значительно ускорить процесс сегментации медицинских изображений, и при этом обладают хорошим качеством работы. Несмотря на то, что такие алгоритмы уже существуют, они продолжают активно развиваться, появляются все новые методы и результаты экспериментов.

Можно выделить следующие методы сегментации изображений общего назначения [1,2]:

- сегментация по пороговому значению;
- сегментация по краям;
- сегментация на основе регионов;
- методы сегментации, основанные на разделении и объединении областей;
- сегментация по водоразделам;
- методы, основанные на уравнениях с частными производными;
- методы сегментации с помощью нейронных сетей.

Метод сегментации по порогу не подойдет для решения задачи качественной сегментации медицинских изображений, потому что имеет весьма специфические условия для своей работы: выделяющийся объект на почти однородном фоне. Краевой метод может дать сбой, так как биомедицинские изображения имеют много шума и очень много границ, а иногда наоборот, границы нужных объектов слишком размыты. То же касается и методов сегментации по водоразделам.

Методы на основе регионов, кластеризации и на основе уравнений с частными производными могут подойти для пред- и постобработки, также их можно опробовать как самостоятельные методы сегментации и оценить их показатели работы.

Методы сегментации с использованием атласов мало подходят для мелких объектов, но при этом на крупных показывают приемлемые результаты.

В качестве наиболее перспективных методов общего назначения следует указать методы сегментации с помощью сверточных нейронных сетей [3-5].

Нейросетевые методы обладают хорошей скоростью и качеством. Эта группа методов является наиболее эффективной для сегментации изображений. Классические методы также могут быть реализованы для сравнения с ними результатов работы методов, основанных на глубоком обучении, или же в качестве пред- и постобработки результатов.

Наиболее популярны для задачи сегментации биомедицинских изображений нейросетевые архитектуры, основанные на U-net. Также в последние годы в архитектурах стали использоваться остаточные связи и рекуррентные блоки, трехмерные свёртки.

1. H.P. Narkhede, "Review on Image Segmentation Techniques" International Journal of Science and Modern Engineering, Vol 1, Issue 8, July 2013.
2. S. Inderpal and K. Dinesh, "A Review on Different Image Segmentation Techniques", IJAR, Vol.. 4, April, 2014.
3. Ciresan, D.C., Gambardella, L.M., Giusti, A., Schmidhuber, J.: Deep neural networks segment neuronal membranes in electron microscopy images. In: NIPS. pp. 2852-2860 (2012)
4. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas Brox U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. arXiv:1505.04597
5. Haozhe Jia, Yang Song, Donghao Zhang, Heng Huang, Dagan Feng, Michael Fulham, Yong Xia, Weidong Cai 3D Global Convolutional Adversarial Network for Prostate MR Volume Segmentation. arXiv:1807.06742

A.N. Afonin, E.L. Smovdarenko
NEURAL-CONTROL INTERFACES IN ROBOTICS

Belgorod State University, Belgorod, Russia
afonin@bsu.edu.ru

Neural-control interfaces (brain-computer interfaces) are devices designed to directly exchange information between the nervous system and an electronic device. The most important signs of neurointerface classification for robotic devices are their location in the body (invasive and non-invasive; in the central or peripheral nervous system) and principle of operation (based on the analysis of chemical or electrical activity of the nervous system) (Fig. 1).

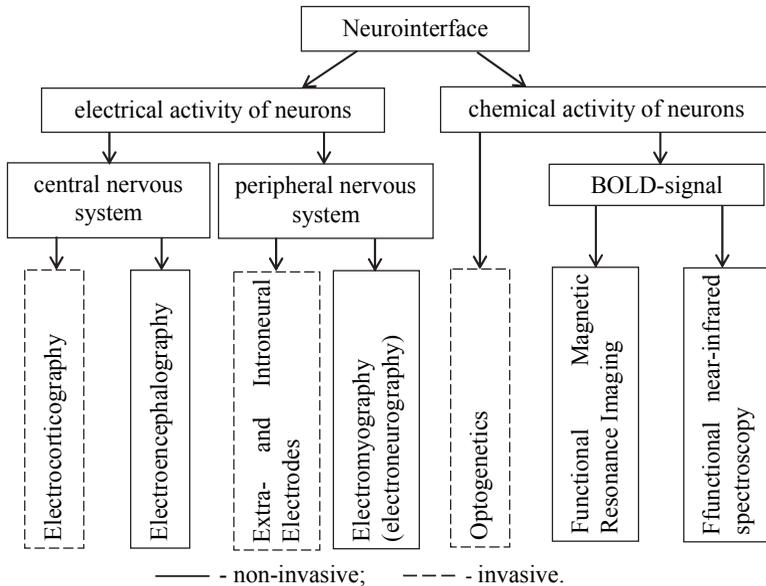


Figure 1 – Classification of the most common neural-control interfaces in robotics by location and principle of operation

Based on the analysis performed, it can be concluded that existing invasive neurointerfaces cannot yet be widely used for use in humans due to health hazards, and non-invasive ones do not allow full control of moving objects. Non-invasive neural-control interfaces based on the electrical activity of the nervous system cause difficulties in recognizing mental commands, and neural interfaces based on the chemical activity of the

nervous system have a low reaction rate. Consequently, the most promising in the near future is the use of combined non-invasive neural interfaces in robotics, for example, based on a combination of electroencephalography (EEG) and functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). In these neural-control interfaces, the disadvantages of one method are compensated for by the advantages of another.

For invasive neural interfaces, the main area of application in the near future will be experiments on animals, including the creation of cyborg animals. The use of invasive neural interfaces on a person, including for the rehabilitation of disabled people, will be widely used only after the emergence of fundamentally new, secure neural interfaces of this kind.

Combined non-invasive neurointerfaces, in particular neurointerfaces based on a combination of EEG and fNIRS, will find wide application for bionic prostheses, exoskeletons and other robotic devices intended for the rehabilitation of disabled people.

Robotic games and simulators with neural interfaces based on electromyography, EEG and fNIRS will find more and more widespread use.

The use of neural-control interfaces for other robotic devices will be only of scientific importance until the emergence of new, safe, invasive neural interfaces, since non-invasive neural interfaces do not have significant advantages over traditional control systems for healthy people.

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Administration of the Belgorod Region as part of a research project 18-48-310028 p_a

А.Н. Афонин, Е.Л. Смовдаренко
НЕЙРОИНТЕРФЕЙСЫ В РОБОТОТЕХНИКЕ

НИУ «БелГУ», г. Белгород
afonin@bsu.edu.ru

Нейроинтерфейсами (интерфейсами «Мозг-компьютер») называются устройства, предназначенные для непосредственного обмена информацией между нервной системой и электронным устройством. Важнейшими признаками классификации нейроинтерфейсов для робототехнических устройств являются их расположение в организме (инвазивные и неинвазивные; в центральной или периферической нервной системе) и принцип действия (на основе анализа химической или электрической активности нервной системы) (рис. 1).

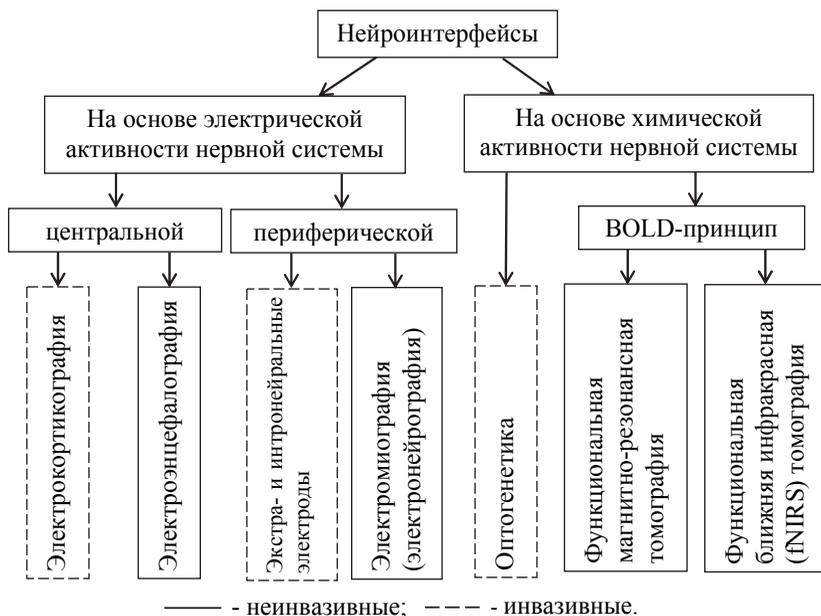


Рисунок 1 – Классификация наиболее распространенных в робототехнике нейроинтерфейсов по расположению и принципу действия

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что существующие инвазивные нейроинтерфейсы не могут пока найти широкого применения для использования на людях из-за опасности для здоровья, а неинвазивные не позволяют полноценно управлять

движущимися объектами. Неинвазивные нейроинтерфейсы на основе электрической активности нервной системы вызывают затруднения при распознавании мысленных команд, а нейроинтерфейсы на основе химической активности нервной системы имеют низкую скорость реакции. Следовательно, наиболее перспективным в ближайшем будущем является применение в робототехнике комбинированных неинвазивных нейроинтерфейсов, например на основе сочетания ЭЭГ и fNIRS. В данных нейроинтерфейсах недостатки одного метода компенсируются достоинствами другого.

Для инвазивных нейроинтерфейсов основной областью применения в ближайшем будущем останутся эксперименты на животных, в том числе создание животных-киборгов. Использование инвазивных нейроинтерфейсов на человеке, в том числе и для реабилитации инвалидов, получит широкое применение только после появления принципиально новых, безопасных нейроинтерфейсов такого рода.

Для бионических протезов, экзоскелетов и других робототехнических устройств, предназначенных для реабилитации инвалидов, найдут широкое применение комбинированные неинвазивные нейроинтерфейсы, в частности нейроинтерфейсы на основе комбинации ЭЭГ и fNIRS.

Все более широкое распространение будут находить робототехнические игры и тренажеры с нейроинтерфейсами на основе ЭМГ, ЭЭГ и fNIRS.

Применение нейроинтерфейсов для других робототехнических устройств будет иметь только научное значение до появления новых безопасных инвазивных нейроинтерфейсов, поскольку неинвазивные нейроинтерфейсы не имеют существенных преимуществ перед традиционными системами управления для здоровых людей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Белгородской области в рамках научного проекта 18-48-310028 p_a.

O.M. Gerget
**FABRIK ALGORITHM FOR CONTINUOUS
MEDICAL ROBOTS**

*Tomsk Polytechnic University, Laboratory of medical
products design, Tomsk, Russia
gerget@tpu.ru*

In recent years, there has been observed the growth of the introduction of robotic systems in medicine. In 2017, the market for medical robots was estimated at 5.7 billion US dollars. It constituted about one-eighth of the whole market of industrial robots. However, by 2025, there is expected the growth by more than 20% which means a much faster rate than that shown by the market of industrial robots (by 9%).

In this paper, we propose a novel approach for solving the inverse problem of kinematics for multisectional continuous medical robots for endovascular heart operations based on the Forward And Backward Reaching Inverse Kinematics algorithm (FABRIK). The approach allows reaching the target point by controlling the orientation of the distal end of the catheter. In particular, a single-section solution allows solving the multisection task when the end point of each section is known. For the iterative FABRIK algorithm, based on the constant curvature approach, each bend section is represented by a chord that connects the beginning and the end of the section (a link with a variable length).

As the input data for direct and inverse kinematics, there were studied 159 possible positions and orientations of the distal end of the catheter. It is assumed that the algorithm reaches the target point if the distance from the tip to the specified point is less than 100 microns and the angle between the target vector and the orientation vector is less than 0.1° . Using simulation, there was evaluated the efficiency of inverse kinematics for the two-section robot. There were viewed such parameters as working area coverage, dexterity and operating time. The working area of the sample and the dexterity were calculated with the help of the Monte Carlo method. According to the results obtained, the inverse kinematics is capable of reaching $98.5 \pm 1.3\%$ of the working area of the robot and $92.7 \pm 4.6\%$ of dexterity. The cpu performance is 92.7 ± 4.6 ms. The distribution of the cpu performance on the working area shows that the part of the labor-intensive positions is located on the outer edge of the working area. We assume that the reason for this is the target points located outside the area of interest. The other part is located along the Z axis, which is associated with the singularity. It is worth noting that the algorithm is relatively simple and enables to perform computations at the real time mode.

О.М. Гергет
**АЛГОРИТМ FABRIK ДЛЯ НЕПРЕРЫВНЫХ
МЕДИЦИНСКИХ РОБОТОВ**

*Томский политехнический университет, Лаборатория дизайна
медицинских изделий, г. Томск, gerget@tpu.ru*

За последние годы наблюдается стремительный рост внедрения робототехнических систем в медицину. В 2017 г. рынок медицинских роботов оценивался в 5,7 млрд долларов США, что составляет примерно одну восьмую часть рынка промышленных роботов. Однако к 2025 г. ожидается, что он вырастет более чем на 20%, что намного быстрее, чем рынок промышленных роботов (на 9%).

В работе предложен новый подход к решению обратной задачи кинематики для многосекционных непрерывных медицинских роботов для проведения эндоваскулярных операций на сердце на основе алгоритма прямой и обратной кинематики (FABRIK). Подход позволяет достичь целевой точки, управляя ориентацией дистального конца катетера. В частности, односекционное решение позволяет решить многосекционную задачу, когда известна конечная точка каждой секции. Для итеративного алгоритма FABRIK, основанного на подходе постоянной кривизны, каждый участок изгиба представлен в виде хорды, которая соединяет начало и конец секции (звена с переменной длиной).

В качестве входных данных для прямой и обратной кинематики были изучены 159 возможных положений и ориентации дистального конца катетера. Устанавливалось допущение, что алгоритм достиг целевой точки, если расстояние от наконечника до заданной точки меньше 100 мкм, а угол между вектором-мишенью и вектором ориентации меньше $0,1^\circ$. При использовании двухсекционного робота эффективность обратной кинематики оценивалась при моделировании по таким параметрам, как охват рабочего пространства, ловкость и время работы. Посредством метода Монте-Карло произведен расчет рабочей области образца и ловкости. Согласно полученным результатам, обратная кинематика способна достигать $98,5 \pm 1,3\%$ рабочего пространства робота и $92,7 \pm 4,6\%$ ловкости. Время работы алгоритма составляет $92,7 \pm 4,6$ мс. Распределение рабочего времени по рабочей области показывает, что часть трудоемких позиций размещается по внешнему краю рабочей области. Мы предполагаем, что причиной этого являются целевые точки, расположенные вне области интереса. Другая часть расположена вдоль оси Z, что связано с сингулярностью. Стоит отметить, что полученный алгоритм относительно прост и позволяет выполнять вычисления в режиме реального времени.

A.V. Kozhevnikova, O.L. Vlasova, J.E. Homutov, V.S. Podlesny
DEVICE FOR A PAIN SYNDROME STUDY

Peter the Great Saint Petersburg University, Saint Petersburg
alina-k-spb@yandex.ru

Pain is an important diagnostic factor in identifying pathologies and monitoring the disease dynamics. Existing methods of pain syndrome analysis are mostly non-specific or subjective, which makes diagnostics difficult and sometimes falsifies it. [1]

The main disadvantage of measuring conduction current or skin resistance is the inaccuracy of these measurements, due to the effect of skin polarization that occurs when a low electric current is passed through the tissue. The skin prevents the passage of current, reduces its amplitude characteristics by more than 100 times. Also, skin resistance in humans sometimes differs by more than 10 times. Indicators of changes vary even in one patient during the day, and skin resistance at the time of measurement changes in the first 10 minutes. [2] As a new approach, we propose the use of relative indicators of changes in the electrical characteristics of the pathological zone instead of the absolute indicators.

The proposed functional diagram of the designed device for the method of assessing pain syndrome study is presented in Figure 1.

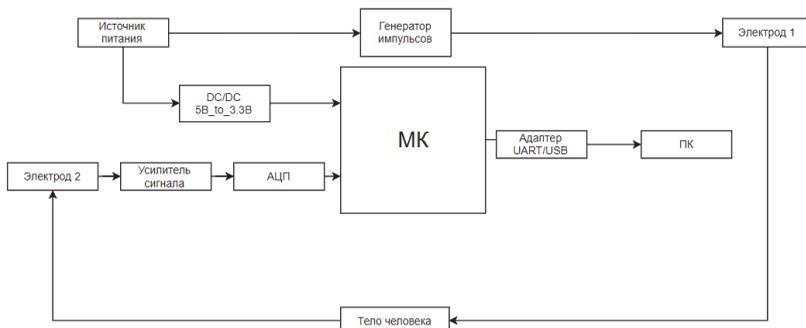


Figure 1 – Functional diagram of the device

The principle of the device operation consists in the generation of an electrical impulse through a body covering and the subsequent analysis of the parameters of the generated impulse passed through the skin.

This process is carried out using a pulse generator based on the flyback converter. This scheme was chosen because of the simplicity of its implementation, the smaller number of necessary electrical components comparing with other solutions, and the availability of a change in the amplitude and frequency of the generated electrical pulses. The pulse is

passed through the electrode 1, applied to the skin of a person. Next, the emitted pulse is captured and recorded by electrode 2, the signal from electrode 2 is fed to the input of a signal amplifier based on an operational amplifier connected in a differential circuit, and then to the input of an analog-to-digital converter (ADC).

A unified analysis of pain with the help of measured physical quantities will improve the quality of remote diagnostics, determine pain of young children, unconscious and anesthetised patients.

1. A.V. Kozhevnikova // Objectives of registering pain syndrome by analyzing changes in capacitive impedance BIOPHYSICS, 2018, volume 63, vol. 1, c. 164–167
2. A.A. Gerasimov // Method for objectifying the diagnosis of pain in the extremities in the muscle-fasciaol syndrome. - Problems of medicine in modern conditions / Collection of scientific papers on the basis of the international scientific-practical conference. - Kazan, 2014. - 362 p.

А.В. Кожевникова, О.Л. Власова, Е.Э. Хомутов, В.С. Подлесный
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЛЕВОГО
СИНДРОМА

*Санкт-Петербургский Политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург
alina-k-spb@yandex.ru*

Боль – важный диагностический фактор при выявлении патологий и наблюдения динамики заболевания. Существующие методы анализа болевого синдрома преимущественно неспецифичны или субъективны, что затрудняет, а иногда и фальсифицирует, процесс диагностики. [1].

Основной недостаток измерения проводимости тока или сопротивления кожи - недостоверность данных измерений, обусловленная эффектом поляризации кожи, возникающим при проведении через ткани слабого электрического тока. Кожа, препятствует прохождению тока, уменьшает его амплитудные характеристики более чем в 100 раз, а сопротивление кожи у людей различается иногда более чем в 10 раз. Показатели изменений варьируются даже у одного пациента в течение суток, а сопротивление кожи в момент измерения меняется в первые 10 минут. [2] В качестве нового подхода нами предлагается использование относительных показателей изменения электрических характеристик патологической зоны взамен абсолютным.

Предлагаемая функциональная схема проектируемого устройства для исследования способа оценки болевого синдрома представлена на рисунке 1.

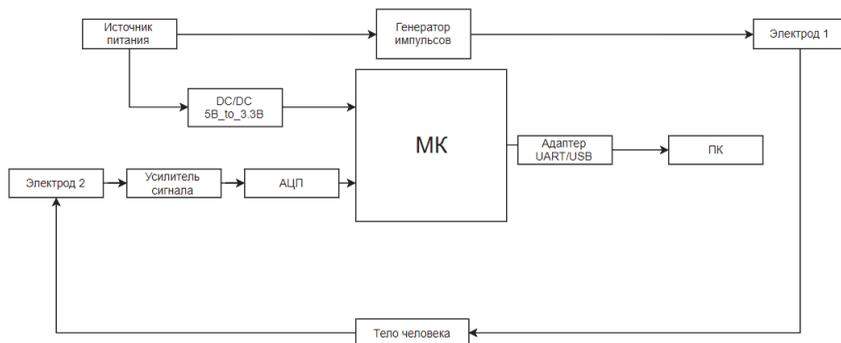


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства

Принцип работы устройства заключается в генерации электрического импульса через покров человека и последующем анализе параметров прошедшего через кожу сгенерированного импульса.

Данный процесс осуществляется с помощью генератора импульсов на основе обратного преобразователя. Данная схема выбрана из-за простоты своей реализации, меньшего количества необходимых электрических компонентов по сравнению с другими решениями, а также наличия возможности изменения амплитуды и частоты генерируемых электрических импульсов. Импульс пропускается через электрод 1, прикладываемый к коже человека. Далее испускаемый импульс улавливается и регистрируется электродом 2, сигнал с электрода 2 поступает на вход усилителя сигнала на основе операционного усилителя, включенного по дифференциальной схеме, а затем – на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Унифицированный анализ болевого ощущения с помощью измеряемых физических величин позволит повысить качество дистанционной диагностики, определять болевые ощущения у маленьких детей и пациентов без сознания, в том числе под наркозом.

1. А.В. Кожевникова //Объективизация регистрации болевого синдрома методом анализа изменений емкостной составляющей импеданса БИОФИЗИКА, 2018, том 63, вып. 1, с. 164–167
2. А.А. Герасимов // Способ объективизации диагностики боли в конечностях при мышечно-фасциальном синдроме. - Проблемы медицины в современных условиях / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – Казань, 2014. – 362 с.

*A.E. Skvortsov^{1,2}, A.A. Kutenkov², V.V. Kharlamov³,
N.A. Gryaznov³, A.V. Lopota³, O.N. Reznik^{1,2}*
**NEW PERFUSION DEVICES FOR ISOLATED
LIVER PERFUSION**

¹ *First State Medical University, St. Petersburg, onreznik@gmail.com*

² *State Institute of Emergency, St. Petersburg, onreznik@gmail.com*

³ *Institute of Philosophy, St. Petersburg, sl@lrc.ru*

Introduction

Terminal liver failure is a terrible complication if it is not possible to perform a liver transplant. High mortality in the waiting list, an increase in the number of donors with extended criteria, a still high percentage of failures from liver removal, due to pronounced fatty hepatitis (macro- and microscopically confirmed), created the prerequisites for the development and implementation of isolated perfusion devices for liver in everyday clinical practice. The most promising option is currently considered to be the normothermic mode of perfusion. "Conservation" of injuries (ischemia, hepatitis, toxic damage, etc.) using simple cold storage with an existing technological resource can be considered an unacceptable way of preserving donor organs in modern practice. The development of new devices for perfusion of donor organs and their introduction into the protocols of donor and transplant services can significantly increase the availability of transplant care to patients on a waiting list for liver transplants.

Material and methods

In 2018 in our University we carried out testing of a prototype of the perfusion complex to rehabilitation and saving the viability of donor organs for transplantation (liver) (LifeStreamHepar). Under sterile operating conditions, isolated normothermic perfusion of two donor's liver with pronounced fatty hepatitis was carried out; the decision was made to abandon the transplant on the basis of macro- and microscopically confirmed pronounced fatty hepatitis. The parameters of the organs: biological sample №1 (liver) - weight 1,450 g, single vessels - common hepatic artery, portal vein, inferior vena cava without defects, primary warm ischemia time (26 min), cold ischemia time - 36 hours; biological sample №2 (liver) - weight 1.250 g., single vessels - common hepatic artery, portal vein, inferior vena cava - free of defects, primary warm ischemic time - 27 minutes, cold ischemic time - 23 hours. The permeability of the microvascular tree and the state of hepatocytes was assessed using a Mindray M5 Doppler, Mindray, China, internal temperature sensors (venous and arterial line) sensors were calibrated by perfusion using a RotaFlow, Maquet transducer, biochemical parameters were also monitored in the perfusate every 60 minutes.

Results

After preparation and cannulation of the vessels on the “backtable” under hypothermia, liver transplants were transferred to a specially designed container for fixing and connecting the donor organ and attached to the perfusion circuit. After checking the fixation of the common hepatic artery (CHA), the portal vein (PV) and the intake cannulas, which exclude their bends, an isolated normothermic (temperature 36.8°C) perfusion of the liver *ex vivo* (outside the donor's body) was started. PC DO included: PC with a pump drive, a container for fixing and connecting a donor organ with prepared pre-modified donor blood, a centrifugal pump head, a membrane oxygenator, an arterial and leukocyte filter, an oxygen supply source, a port system for sampling and drug administration (Figure 1). The perfusion was carried out at a speed of from 0.1 to 1.1 l/min (a gradual increase from 0.1 l/min to the recommended values (for CHA - 0.3 l/min, for explosives - 1.1 l/min), a stream of oxygen from 25 to 150 ml/min. The duration of perfusion in both cases was 360 minutes.

During the perfusion, spontaneous recovery of bile outflow was noted, which was controlled through the cannula installed in the choledoch grafts (volume 27.8 and 43.7 ml), the color and consistency of the grafts did not differ from normal values, the biochemical data were higher than physiological values, which was most likely due to a long cold storage period, reduced the number of leukocytes in the circuit to 1×10^9 per liter, during 128 and 186 minutes, respectively. Hemoglobin perfusate was 34.93 (12.39) g/l, hematocrit 0.33 (0.16). The AST level increased to a maximum of 1293 and 986 mmol/l at 240 minutes, after which there was a tendency to decrease to the level of 982 and 823 mmol/l, respectively. In the dynamics of total bilirubin, an increase was observed during the first 60 minutes to 6.4 mmol/l and 10.7 mmol/l, then during the entire period of perfusion, there was a persistent decrease in the rate to 4.4 mmol/l and 3.4 mmol/l.

An increase in linear blood flow velocity parameters and a decrease in the resistive index (RI) within 1.5 hours from the onset of perfusion indicated a decrease in liver spasm of pre- and postcapillaries, a decrease in endothelium edema, and a decrease in the number of activated leukocytes and their conglomerates in the perfusion region.



Figure 1 – General scheme of the components of a PC DO (front view): 1 - a container for fixing and connecting a donor organ, 2 - a display for controlling parameters, 3 - volumetric infusion pump, 4 - a portable oxygen source

Conclusion

1. Developed on the basis of hydrodynamically grounded principles of designing a PC DO is a medical device for separate perfusion of the portal and arterial systems of the liver with a range of regulation of flow from 0.1 to 1.1 l/min. and low injury formed elements, which allows its use in the system of isolated perfusion of donor organs (liver).

2. The use of an ultrasound for the study of blood flow makes it possible to most fully assess the condition of the microvascular tree of the donor organ, which may be a prognostic criterion for the quality of a future transplant.

3. The flow-rate characteristics of a PC DO allow for the pressure drop at the organ entrance, both in the common hepatic artery system and in the portal vein system, which allows adequate perfusion of the entire vascular region of the liver and ensuring minimal trauma of the choledoch's vascular system, which significantly reduces the risk of ischemic cholangitis.

4. Perfusion using PC DO makes it possible to rehabilitation and saving the viability state of the liver after 25 minutes primary warm ischemia and pronounced fatty hepatosis, as evidenced by the spontaneous recovery of bile outflow (volume of 27.8 and 43.7 ml), the color and

consistency of the graft do not differ from normal values. Biochemical data stabilize or begin to decline after 240 minutes after the start of perfusion.

5. The use of PC DO on the basis of automatically controlled blood pumps for the extracorporeal rehabilitation and saving of the viability of donor organs allows for medical and genetic remodeling of the donor organ.

The thesis was prepared with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of a comprehensive project of 03/03/2017 No. 03.G25.31.0218: "Development and mastering the production of a complex of perfusion modules and devices for mobile cardiopulmonary bypass systems".

**А.Е. Скворцов^{1,2}, А.А. Кутенков², В.В. Харламов³,
Н.А. Грязнов³, А.В. Лопота³, О.Н. Резник^{1,2}**
**АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРФУЗИИ
ИЗОЛИРОВАННОЙ ДОНОРСКОЙ ПЕЧЕНИ**

¹ ФГБОУ ВО «СПбГМУ им И.П. Павлова», Санкт-Петербург,
onreznik@gmail.com

² ГБУ «СПб НИИСП им И.И. Джанелидзе», Санкт-Петербург,
onreznik@gmail.com

³ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, sl@ltc.ru

Введение

Терминальная печеночная недостаточность является грозным осложнением, при отсутствии возможности выполнить трансплантацию печени. Высокая летальность в листе ожидания, увеличение количества доноров с расширенными критериями, по прежнему высокий процент отказов от изъятия печени, в связи с выраженным жировым гепатозом (макро- и микроскопически подтвержденным), создало предпосылки для разработки и внедрения в повседневную клиническую практику аппаратов для изолированной перфузии печени. Наиболее перспективным вариантом в настоящее время принято считать нормотермический режим перфузии. «Консервацию» повреждений (ишемия, гепатоз, токсическое повреждение и т.п.) при использовании простого холодового хранения при существующем техногуманитарном ресурсе можно считать неприемлемым способом сохранения донорских органов в современной практике. Разработка отечественных устройств для перфузии донорских органов и внедрение их в протоколы работы донорских и трансплантационных служб может значительно повысить доступность трансплантационной помощи пациентам в листе ожидания на пересадку печени.

Материал и методы исследования

В 2018 году в ПСБГМУ им И.П. Павлова нами была выполнена апробация опытного образца перфузионного комплекса для восстановления и поддержания жизнеспособности донорских органов для трансплантации (печени) (ОО ПК ДО). В условиях стерильной операционной проведена изолированная нормотермическая перфузия двух донорских трансплантатов печени с выраженным жировым гепатозом, от пересадки которых было принято решение отказаться на основании макро- и микроскопически подтвержденного выраженного жирового гепатоза. Параметры органов: биологический образец №1 (печень) – вес 1,450 г., сосуды – одиночные, общая печеночная артерия, воротная вена, нижняя полая вена – без дефектов, время тепловой ишемии (26 мин), время холодовой ишемии 36 часов; биологический образец №2 (печень) – вес 1,250 г., сосуды – одиночные, печеночная артерия, воротная вена, нижняя полая вена – без дефектов, время тепловой ишемии - 27 минут, время холодовой ишемии – 23 часа. Проприетарность микрососудистого русла и состояния гепатоцитов было оценено с помощью доплерографа Mindray M5, Mindray, Китай, показатели датчиков температуры внутреннего контура (венозный и артериальной линии) были калиброваны в процессе перфузии с помощью датчика аппарата искусственного кровообращения RotaFlow, Maquet, также осуществлялся контроль биохимических показателей и кислотно-основного состояния (КОС) перфузата каждые 60 минут, параллельно проводилась калибровка всех подсистем ОО ПК ДО.

Результаты

После подготовки и канюляции сосудов на “backtable” в условиях гипотермии, печеночные трансплантаты перемещали в специально разработанный контейнер для фиксации и подключения донорского органа и присоединяли к контуру перфузии. После проверки фиксации общей печеночной артерии (ОПА), воротной вены (ВВ) и «заборных» канюль, исключаящим их перегибы, начинали изолированную нормотермическую (температура 36,8°C) перфузию печени *ex vivo* (вне тела донора). ПК ДО включало: ОО ПК ДО для проведения нормотермической перфузии изолированной донорской печени с приводом насоса, контейнер для фиксации и подключения донорского органа с заготовленной заранее модифицированной донорской кровью, центрифужная головка насоса, мембранный оксигенатор, артериальный и лейкоцитарный фильтры, источник подачи кислорода, система портов для отбора проб и введения лекарственных препаратов (Рис.1). Перфузия проводилась со скоростью от 0,1 до 1,1 л/мин (постепенное увеличение от 0,1 л/мин до рекомендуемых величин (на ОПА – 0,3 л/мин, на ВВ – 1,1 л/мин)), потоком кислорода от 25 до 150

мл/мин. Продолжительность перфузии в обоих случаях составила 360 минут.



Рисунок 1 – Общая схема компонентов ОО ПК ДО (вид спереди): 1 – контейнер для фиксации и подключения донорского органа, 2 – дисплей управления и контроля параметров, 3 – инфузоматы, 4 – портативный источник кислорода

Во время проведения перфузии отмечалось спонтанное восстановление оттока желчи, что контролировалось через установленную в холедохе трансплантатов канюлю (объем 27,8 и 43,7 мл), цвет и консистенция трансплантатов не отличались от нормальных показателей, биохимические данные были выше физиологических значений в течении всего периода перфузии, что вероятнее всего было связано с длительным периодом ходового хранения, сокращение количества лейкоцитов в контуре до 1×10^9 в л, произошло в течение 128 и 186 мин, соответственно. Гемоглобин перфузата составил 34.93 (12.39) г/л, гематокрит 0.33 (0.16). Уровень АСТ максимально увеличился к 240 минуте до значений 1293 и 986 ммоль/л, после чего отмечалась тенденция к снижению до уровня 982 и 823 ммоль/л, соответственно. В динамике общего билирубин отмечалось увеличение в течение первых 60 минут до 6,4 ммоль/л и 10,7 ммоль/л, затем в течении всего периода перфузии отмечалось стойкое снижение показателя до 4,4 ммоль/л и 3,4 ммоль/л.

Повышение параметров линейной скорости кровотока и снижение резистивного индекса (RI) в течение 1,5 часов от начала

перфузии свидетельствовало о снижении спазма пре- и посткапилляров печени, уменьшения отека эндотелия, на фоне снижения количества активированных лейкоцитов и их конгломератов в регионе перфузии.

Выводы

1. Разработанный на основе гидродинамически обоснованных принципов конструирования ОО ПК ДО является медицинским изделием для раздельной перфузии портальной и артериальной систем печени с диапазоном регулирования объемной скорости от 0,1 до 1,1 л/мин. и низкой травмой форменных элементов, что позволяет его использовать в системе изолированной перфузии донорских органов.

2. Использование ультразвукового доплерографа для исследования кровотока позволяет наиболее полно оценить состояние микрососудистого русла донорского органа, что может являться прогностическим критерием качества будущего трансплантата.

3. Напорно-расходные характеристики ОО ПК ДО позволяют обеспечить перепад давления на входе в орган, как в системе общей печеночной артерии, так и в системе воротной вены, что дает возможность адекватной перфузии всего сосудистого региона печени и обеспечение минимальной травмы системы кровообращения холедоха, что существенно снижает риск развития ишемического холангита.

4. Проведение перфузии с использованием ОО ПК ДО дает возможность восстанавливать и сохранять функциональное состояние печени через 25 мин. первичной тепловой ишемии и выраженным жировым гепатозом, о чем свидетельствует спонтанное восстановление оттока желчи (объем 27,8 и 43,7 мл), цвет и консистенция трансплантата не отличаются от нормальных показателей. Биохимические данные стабилизируются или начинают снижаться через 240 минут после начала перфузии.

5. Использование ОО ПК ДО на основе насосов крови с автоматическим управлением для экстракорпорального восстановления и поддержания жизнеспособности донорских органов позволяет осуществлять медикаментозное и генетическое ремоделирования донорского органа.

Тезис был подготовлен при финансовой поддержке Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта от 03.03.2017 г. № 03.G25.31.0218 по созданию высокотехнологичного производства с участием государственного научного учреждения по теме: «Разработка и освоение производства комплекса перфузионных модулей и устройств для мобильных систем искусственного кровообращения»

E.N. Ivakhno, O.G. Khudasova, V.A. Dubrova, A.U. Aleynikov
**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A HARDWARE-
SOFTWARE SIMULATION MODEL FOR CARRYING OUT
DIAGNOSTIC PROCEDURES ON THE VESSELS
OF THE LOWER EXTREMITIES**

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«Belgorod National Research University», NRU «BelSU», Belgorod, Russia
1195507@bsu.edu.ru, hudasova_og@bsu.edu.ru,
861991@bsu.edu.ru, aleinikov@bsu.edu.ru*

The presence of only clinical knowledge is not able to fully provide quality medical training. Lack of practical skills, insufficient feedback between the teacher and the student, as well as moral and ethical standards in the interaction of students and the patient can serve as reasons for poor-quality training of specialists in the medical field. The main task is to create the necessary conditions for the full development of students and securing the material they received with virtually no likelihood of harm. Various models of phantoms, models, models designed for practicing primitive skills have been used in the field of education for a long time. The introduction of computer technology and robotic systems has prospects.

The creation of simulators [1], by their properties approaching the natural physiological analogs of human functions, computer modeling, development of clinical situations in a dynamic course and the introduction of virtual reality, make it possible to recreate real situations in practice, to improve the skills of not only doctors, but also all medical staff, as well as students.

The aim of the work is the development and implementation of a robotic simulation simulation system of diagnostic procedures (ultrasound of the lower extremities, visual examination of the patient, palpation) in order to conduct a simulation surgery (removal of blood clots (thrombectomy), removal of atherosclerotic plaques (endarterectomy)) while simulating the symptoms (from cyanosis, erythema, etc.).

To realize this goal, a model of the lower extremity was reproduced from the photopolymer flex using the FormLabs form2 3d printer, (previously obtained by using the EinScan PRO Plus 3d scanner). (Fig. 1)

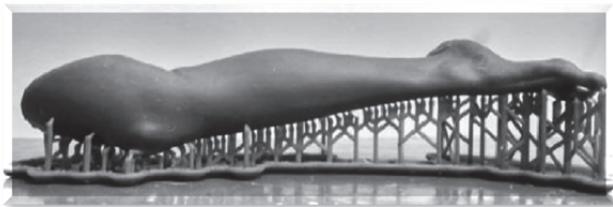


Figure 1 – Model of the lower limbs

A block diagram of a robotic simulation model is shown in Figure 2.

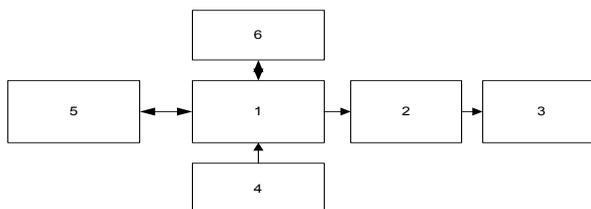


Figure 2 – Structural diagram of the simulation model

- (1) Atmega 32 microcontroller;
 - (2) actuator drivers;
 - (3) actuators (LEDs for cyanosis and erythema, peristaltic pump for modeling blood flow, switching valves for active cavities (for modeling swelling, thrombus formation), etc.);
 - (4) an RFID tag system (to simulate diagnostics by ultrasound);
 - (5) wireless transmission module;
 - (6) catheter simulation module.
1. Simulation training in medicine / Edited by Professor A. Svistunov. Compiled Gorshkov MD - Moscow .: Publishing House of the First MG MU. I.M. Shechenova, 2013 - 288 p., Il.

Е.Н. Ивахно, О.Г. Худасова, В.А. Дуброва, А.Ю. Алейников
**РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ
СИМУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР НА СОСУДАХ
НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет», НИУ «БелГУ», г. Белгород
1195507@bsu.edu.ru, hudasova_og@bsu.edu.ru, 861991@bsu.edu.ru,
aleinikov@bsu.edu.ru*

Наличие только клинических знаний не способно в полной мере обеспечить качественную подготовку врача. Отсутствие практических навыков, недостаточная обратная связь между преподавателем и студентом, а также нормы морали и этики во взаимодействии обучающихся и пациента могут послужить причинами некачественной подготовки специалистов в медицинской сфере. Главной задачей становится создание необходимых условий для всестороннего развития обучающихся и закрепление полученного ими материала практически без вероятности нанесения вреда. Различные модели фантомов, макетов, муляжи, предназначенные для отработки примитивных навыков, уже очень давно находят свое применение в области обучения. Внедрение же компьютерных технологий и роботизированных систем имеет перспективы.

Создание тренажеров[1], по своим свойствам приближающихся к естественным физиологическим аналогам функций человека, компьютерное моделирование, развития клинических ситуаций в динамическом течении и внедрение виртуальной реальности, делают возможными воссоздание реальных ситуаций на практике, для повышения квалификации не только врачей, но и всего медицинского персонала, а также обучающихся.

Целью работы является разработка и реализация роботизированной имитационной системы моделирования диагностических процедур (УЗИ нижних конечностей, визуального осмотра пациента, пальпации) с целью проведения имитационного хирургического вмешательства (удаление тромбов (тромбоэктомия), удаление атеросклеротических бляшек (эндартерэктомия)) при одновременном моделировании симптоматики (отек, цианоз, эритема и пр.).

Для реализации поставленной цели из flexфотополимера посредством 3d принтера FormLabsform2 была воспроизведена модель нижней конечности, (предварительно полученная посредством 3d сканера EinScanPROPlus).(рис. 1)



Рисунок 1 – Модель нижней конечности

Структурная схема роботизированной симуляционной модели приведена на рисунке 2.

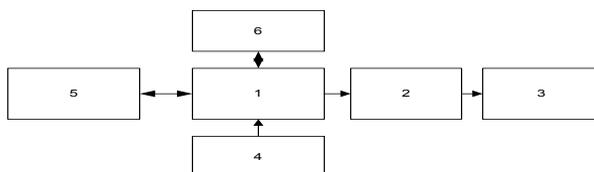


Рисунок 2 – Структурная схема симуляционной модели

- (1) микроконтроллер Atmega 32;
- (2) драйверы исполнительных устройств;
- (3) исполнительные устройства (светодиоды цианоза и эритемы, перистальтический насос моделирования кровотока, клапаны переключения активных полостей (для моделирования припухлостей, тромбообразования) и пр.);
- (4) система RFID меток (для моделирования диагностики посредством УЗИ);
- (5) модуль беспроводной передачи;
- (6) модуль симуляции работы с катетером.

1. Симуляционное обучение в медицине / Под редакцией профессора Свистунова А.А. Составитель Горшков М.Д. – Москва.: Издательство Первого МГМУ им. И.М.Сеченова, 2013 – 288 с., ил.

V. Tolstyh
**MINIMALLY INVASIVE TREATMENT OF HEMORRHOIDS
AND ANORECTAL AREA ACOMPANING DISEASES
BY “ANGIODIN PROCTO + DUAL-LINE LASER”**

*LLC “BIOSS Clinic”, Moscow
lantan.doctor@gmail.com*

Anorectal area diseases take the big part of all proctological problems. The share of hemorrhoids and anal fissure account about 50%. [1].

Patients with all hemorrhoids grades from I to IV come to clinic for medical treatment. New minimally invasive methods of hemorrhoid treatment are coming to replace traditional traumatic hemorrhoidectomy. Minimally invasive treatment even in complicated grades of hemorrhoid is possible!

Let's consider preoperative examinations, variants of preparation for minimally invasive operation and different anesthesia methods.

Minimally invasive technique: suture ligation of the hemorrhoid artery. This method based on Doppler guided suture ligation. Mucopexy is used together with suture ligation in a number of cases. Mucopexy is the suture fixation of the hemorrhoids prolapse, it allows treating of II and III grades hemorrhoids with high effectiveness.

Laser technique in proctology – an effective tool to treat anorectal area diseases. Using of dual-line laser allow to do all necessary manipulations to treat hemorrhoids: cutting off, coagulation, vaporization.

Using suture ligation of the hemorrhoid artery technique together with laser vaporization allow treating hemorrhoid up to IV grade and decrease maximal risk of complications from surgeries. In addition, the concomitant diseases problems could be solved in one operation.

Post-operation patient management after minimally invasive procedure.

1. V.L.Rivkin. Proctological disease incidence and specialized service standards. *Consilium Medicum*. 2017; 8: 89-92

В.С. Толстых
МАЛОИНВАЗИВНОЕ ЛЕЧЕНИЕ ГЕМОРРОЯ
И СОПУТСТВУЮЩИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ
АНОРЕКТАЛЬНОЙ ЗОНЫ НА КОМПЛЕКСЕ
«АНГИОДИН-ПРОКТО + ДВУХВОЛНОВЫЙ ЛАЗЕР»

ООО «Клиника БИОСС», г. Москва
lantan.doctor@gmail.com

Заболевания аноректальной зоны занимают большую долю среди всех проктологических заболеваний, а такие заболевания, как геморроидальная болезнь и анальные трещины, составляют более 50 %. [1].

За медицинской помощью в клиники обращаются пациенты с различными стадиями геморроя: от 1 -й до 4-й. На смену традиционной травматичной геморроидэктомии пришли современные малоинвазивные методы лечения геморроя. Применение малоинвазивных методик даже при сложных стадиях геморроя возможно!

Рассмотрим объём предоперационного обследования, варианты подготовки к малоинвазивной операции и различные способы анестезии.

Малоинвазивная методика: Дезартеризации геморроидальных узлов. В основе методики лежит перевязка (шовное лигирование) геморроидальных артерий под контролем ультразвуковой доплерографии. В ряде случаев совместно с дезартеризацией выполняется лифтинг слизистой – мукопексия, заключающаяся в шовной фиксации выпадающих геморроидальных узлов, что позволяет лечить геморрой 2 и 3 стадии с высокой степенью эффективности.

Лазерные технологии в проктологии - эффективный инструмент лечения заболеваний аноректальной зоны. Применение двухволнового лазера позволяет проводить все необходимые манипуляции для лечения геморроя: отсечение, коагуляцию, вапоризацию.

Совместное применение методики дезартеризации геморроидальных узлов и лазерной вапоризации позволяет: лечить геморрой высоких стадий (вплоть до 4-й) и максимально снизить риск послеоперационных осложнений. Кроме этого, в ходе одной операции можно решить проблему сочетанной патологии.

Послеоперационное ведение пациентов при малоинвазивных воздействиях.

1. В.Л.Ривкин. Проктологическая заболеваемость и нормативы специализированной службы. Consilium Medicum. 2017; 8: 89-92

S.A. Nikitin, V.V. Kharlamov
ROBOTIC SYSTEM FOR FUSION BIOPSY

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
s.nikitin@rtc.ru, v.harlamov@rtc.ru*

It is well known that the key to success in the treatment of cancer patients is timely diagnosis of the tumor process in the early stages. One of the most reliable methods of diagnosing malignant neoplasms, especially at the I–II stages, is a biopsy of a suspicious focus in order to detect tumor cells there. The effectiveness and reliability of the biopsy method depends mainly on the accuracy of the localization of the tissue area under study and the positioning accuracy of the biopsy needle, which the doctor manually enters. Emerging errors in visualization of the study area and positioning of the needle, associated with the human factor and the limitations of individual imaging methods, often lead to the fact that the material taken for the study is uninformative, or does not contain tumor cells despite the fact that in fact the tumor process takes place (false-negative result). As a result, the patient loses precious time, and returns to the doctor with the III–IV stage of the disease, accompanied by severe clinical symptoms. Thus, according to various data, patients with suspected prostate cancer can not take enough material for the study in almost 30% of cases, which requires a second biopsy [1]. In patients with breast cancer, for example, the frequency of false-negative biopsies performed in specialized cancer centers is on average 2.5 to 6% [2], which is not so small, given the leading position of breast cancer among the causes of cancer morbidity and mortality in women [3]. Thus, the problem of insufficient effectiveness of standard biopsy is acute in the context of finding ways to improve the results of diagnosis and treatment of cancer patients.

The solution to this problem can be a new fusion biopsy technology, which has a number of advantages over conventional biopsy and has proven itself in clinical practice. Fusion biopsy, as well as classical biopsy, is performed under ultrasound control. The main technological difference is that during fusion biopsies are used previously obtained on magnetic resonance imaging (MRI) images, the image of which is superimposed on the image during ultrasound (ultrasound), so that the doctor receives a three-dimensional image of the tissue (organ) of interest. Thus, the doctor has the opportunity to take samples (biopsies) even in the most remote places. This combination of the two imaging techniques ensures accurate localization of the area to be sampled and accurate real-time localization of the biopsy needle. In published studies, the authors report that fusion biopsy can detect

malignancy in a much larger number of patients than a conventional biopsy [4,5]. At the same time, manual fusion biopsy still does not solve the question of the accuracy of the biopsy needle guidance, which means that the problem of taking biopsies from a given area remains unresolved. The development of a robotic complex for fusion biopsy, which provides not only optimal visualization of a given area, but also almost any given precision of the tool guidance, which can not be achieved manually, will significantly increase the efficiency of the biopsy procedure, reduce the need for repeated biopsies, minimize the likelihood of false-negative results, which will contribute to the detection of malignant tumors in the early stages.

1. Serefoglu EC, Altinova S, Ugras NS, Akincioglu E, Asil E, Balbay MD. How reliable is 12-core prostate biopsy procedure in the detection of prostate cancer? Canadian Urological Association journal. 2012;1–6.
2. Boba M., Koltun U., Bobek-Billewicz B., Chmielik E. et al. False-negative results of breast core needle biopsies – retrospective analysis of 988 biopsies // Pol. J. Radiol. – 2011. – Vol. 76. – P. 25–29.
3. Malignant neoplasms in Russia in 2016 (morbidity and mortality) / A.D. Kaprin, V.V. Starinskiy, G.V. Petrova. – M.: P. A. Hertsen Moscow Oncology Research Center - branch of FSBI NMRRC of the Ministry of Health of Russia, 2018. – 250c.
4. Pinto PA, Chung PH, Rastinehad AR, Baccala AA, Jr, Kruecker J, Benjamin CJ, et al. Magnetic resonance imaging/ultrasound fusion guided prostate biopsy improves cancer detection following transrectal ultrasound biopsy and correlates with multiparametric magnetic resonance imaging. The Journal of urology. 2011;186:1281–5.
5. Miyagawa T, Ishikawa S, Kimura T, Suetomi T, Tsutsumi M, Irie T, et al. Real-time Virtual Sonography for navigation during targeted prostate biopsy using magnetic resonance imaging data. International journal of urology : official journal of the Japanese Urological Association. 2010;17:855–60

С.А. Никитин, В.В. Харламов
РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ФЬЮЖН БИОПСИИ

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
s.nikitin@rtc.ru, v.harlamov@rtc.ru

Хорошо известно, что залог успеха в лечении онкологических пациентов – это своевременная диагностика опухолевого процесса на ранних стадиях. Одним из наиболее надежных методов диагностики злокачественных новообразований, в особенности на I–II стадиях, является биопсия подозрительного очага с целью выявления там опухолевых клеток. Эффективность и достоверность метода биопсии зависит, главным образом, от точности локализации исследуемой области ткани и точности позиционирования биопсийной иглы, которую вводит врач вручную. Возникающие ошибки визуализации исследуемой области и позиционирования иглы, связанные с человеческим фактором и ограничениями отдельных методов визуализации, зачастую приводят к тому, что взятый для исследования материал оказывается малоинформативен, или не содержит опухолевых клеток при том, что на самом деле опухолевый процесс имеет место (ложно-отрицательный результат). В результате, пациент теряет драгоценное время, и возвращается к врачу уже с III–IV стадией заболевания, сопровождающейся выраженной клинической симптоматикой. Так, по разным данным у пациентов с подозрением на рак предстательной железы не удается взять достаточное количество материала для исследования почти в 30% случаев, что требует повторной биопсии [1]. У пациенток с раком молочной железы, например, частота ложноотрицательных результатов биопсий, выполняемых в специализированных онкологических центрах, в среднем составляет от 2,5 до 6% [2], что не так мало, учитывая лидирующие позиции рака молочной железы среди причин онкологической заболеваемости и смертности у женщин [3]. Таким образом, проблема недостаточной эффективности стандартной биопсии, остро стоит в контексте поиска путей улучшения результатов диагностики и лечения онкологических больных.

Решением данной проблемы может стать новая технология фьюжн биопсии, имеющая целый ряд преимуществ перед обычной биопсией и успевшая зарекомендовать себя в клинической практике. Фьюжн биопсия, так же как и классическая биопсия, проводится под контролем ультразвука. Главное технологическое отличие заключается в том, что во время фьюжн биопсии применяются предварительно полученные на магнитно-резонансном томографе (МРТ) снимки, изображение с которых накладывается на изображение во время

ультразвукового исследования (УЗИ), вследствие чего врач получает трехмерное изображение интересующей ткани (органа). Таким образом, у врача появляется возможность взять пробы (биоптаты) даже в самых труднодоступных местах. Такое совмещение двух методов визуализации обеспечивает точную локализацию области, из которой планируется взять пробы, и точную локализацию биопсийной иглы в режиме реального времени. В опубликованных исследованиях авторы сообщают о том, что фьюжн биопсия позволяет выявлять злокачественное новообразование у значительно большего количества пациентов, чем обычная биопсия [4,5]. При этом ручное выполнение фьюжн биопсии по-прежнему не решает вопрос точности наведения биопсийной иглы, а значит, проблема взятия биоптатов из заданной области остается нерешенной. Разработка роботизированного комплекса для фьюжн биопсии, обеспечивающего не только оптимальную визуализацию заданной области, но и практически любую заданную точность наведения инструмента, которую невозможно достигнуть ручным способом, значительно повысит эффективность процедуры биопсии, сократит потребность в повторных биопсиях, сведет к минимуму вероятность ложно-отрицательного результата, что будет способствовать выявлению злокачественных новообразований на ранних стадиях.

1. Serefoglu EC, Altinova S, Ugras NS, Akincioglu E, Asil E, Balbay MD. How reliable is 12-core prostate biopsy procedure in the detection of prostate cancer? Canadian Urological Association journal. 2012;1–6.
2. Boba M., Koltun U., Bobek-Billewicz B., Chmielik E. et al. False-negative results of breast core needle biopsies – retrospective analysis of 988 biopsies // Pol. J. Radiol. – 2011. – Vol. 76. – P. 25–29.
3. Злокачественные новообразования в России в 2016 году (заболеваемость и смертность) / ред. А.Д. Каприн, В.В. Старинский, Г.В. Петрова. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена» Минздрава России, 2018. – 250с.
4. Pinto PA, Chung PH, Rastinehad AR, Vaccala AA, Jr, Kruecker J, Benjamin CJ, et al. Magnetic resonance imaging/ultrasound fusion guided prostate biopsy improves cancer detection following transrectal ultrasound biopsy and correlates with multiparametric magnetic resonance imaging. The Journal of urology. 2011;186:1281–5.
5. Miyagawa T, Ishikawa S, Kimura T, Suetomi T, Tsutsumi M, Irie T, et al. Real-time Virtual Sonography for navigation during targeted prostate biopsy using magnetic resonance imaging data. International journal of urology : official journal of the Japanese Urological Association. 2010;17:855–60

*Seyede Marzieh Hosseini¹, Leila Mirmoghtadaie¹,
Alireza Mirbagheri²*

**INTRODUCTION OF AN AUTOMATED ROBOTIC
INSTRUMENT TO DETERMINATION OF
PHYTIC ACID IN CEREAL PRODUCTS BASED
ON FE- NANO SENSOR**

*¹Department of Food Science and Technology, National Nutrition and Food
Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food
Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

*²Research Center for Biomedical Technologies & Robotics (RCBTR),
Dept. of Medical Physics and Biomedical Eng., School of Medicine
Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran,
ar_mirbagheri@yahoo.com*

In this study a portable and automated robotic instrument based on Nano sensor is designed to determine Phytic acid concentration in bread and other cereal products. Myoinositol hexakisphosphate (Phytic acid) is a source of storage phosphorus in different plants that occurred naturally in most if not all seeds and cereal grains. There are twelve replaceable protons, with a high density of negatively charged phosphate groups (varying with the pH) in its unique structure, the molecular formula for which is C₆H₁₈O₂₄P₆, and the molar mass is 660.08 g mol. approximately 1–2% of the weight of the cereal seed is Phytic acid or its salt, that can reach to 3–6%. However the Phytic acid contents of cereals typically vary from 0.5 to 2.0%. Phytic acid can form a strong complex with multivalent metal ions, especially zinc, calcium, and iron. This binding caused forming very insoluble salts with poor bioavailability of these minerals. Until now, different methods such as high-performance liquid chromatography (HPLC), colorimetry and spectrophotometry have been reported for determination of Phytic acid in food samples. However, most of these methods are time consuming and/or suffer from many interfering compounds that restrict their applications in food samples. Recently, electrochemical methods are used as simple and inexpensive methods to determine different compounds. Moreover, electrochemical devices, are easy to miniaturize and automate.

Now, we decide to design and fabricate a new portable robotic device to accept small amount of cereal sample and automatically prepare the sample and analyze it through Nano Fe based sensor with microgram scale of limit of detection. The automated robot dried and milled the sample and mixed with 50 ml deionized water, finally, supernatant is used as a prepared sample to determine Phytic acid using Nano Fe sensor. This system is highly recommendable duo to maintaining the level of accuracy and sensitivity of laboratory diagnostics along with portability, low-cost, easy-to-use and possibility of miniaturizing. Given to the fundamental importance of complexing Phytic acid with divalent ions specially Fe²⁺, we decided to investigate the interaction of Phytic acid and Nano ferric electrode by an automated electrochemical robotic instrument.

*Leila Mirmoghtadaie¹, Alireza Mirbagheri²,
Seyede Marzieh Hosseini¹*

**INTRODUCTION OF A ROBOTIC DEVICE TO
AUTOMATICALLY DETERMINE FOLIC ACID
CONCENTRATION BASED ON
ELECTROCHEMICAL BIOSENSOR**

¹*Department of Food Science and Technology, National Nutrition and Food
Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food
Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

²*Research Center for Biomedical Technologies & Robotics (RCBTR),
Dept. of Medical Physics and Biomedical Eng., School of Medicine
Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran,
ar_mirbagheri@yahoo.com*

The objective of this study is to design a portable and automated electrochemical DNA-sensor based robotic device to automatically prepare samples for folic acid determination in food and drug samples.

Folic acid is one of the water-soluble vitamin B groups, that is a tasteless and odorless yellowish orange crystal. Folate has been identified as one of the most important vitamins for normal human metabolic function. The amount of folic acid perception is important to neural tube defects in newborns, cardiovascular diseases, colon cancer and certain anemia. Also, folic acid is essential for cell growth and division and participates in lots of other reactions in body.

Recently, high-performance liquid chromatography (HPLC), HPLC-MS, Colorimetry, Spectrophotometry, Chemiluminescence, Fluorimetric and Microbial methods have been reported for determination of folic acid. However, most of these methods are expensive and time consuming and/or suffer from many interfering compounds, and thus restrict their applications in food analysis. In compare, it is well known that electrochemical methods are simple and inexpensive and require small amount of sample. Also electrochemical devices, are easy to miniaturize and automate through an inexpensive instrument and reusable electrodes. During this research, we intend to design and fabricate a new portable robotic device to accept small amount of food or drug sample (less than 5 g) and automatically prepare the sample, analyze it through an electrochemical method with reusable electrodes, and report the folic acid concentration in less than 15 min with proper limit of detection. The automated progresses in this robotic machine include: accepting the sample, drying, milling, picking up a specific weight of sample powder (1 g), mixing with 50 ml deionized water, centrifuging

for 10 minutes at 5000 rpm and finally using 20 ml of the supernatant as prepared sample to folic acid determination by the DNA-based Nano biosensor. This sensor be immersed in the prepared sample solution and measured the folic acid concentration in less than 30 sec. Finally, the binding of folic acid to DNA was measured through the variation of the electrochemical signal of adenine. Folic acid could be measure in the range of $0.1 - 10.0 \mu\text{mol L}^{-1}$ with a detection limit of $1.06 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$. After finishing the measurement process, the reusable electrodes will be cleaned through Alumina abrasion procedure. Characteristics such as low-cost, easy-to-use, portability, and miniaturizable, along with maintaining the level of accuracy and sensitivity of laboratory diagnostics, made this system highly desirable. Given the fundamental importance of ds-DNA and specific interactions with selective compounds, we encouraged to investigate the interaction of folic acid and a ds-DNA by an automated electrochemical robotic system.

**EDUCATIONAL ROBOTICS /
ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

D.A. Egorov, A.S. Gonnochenko
**EUROBOT ROBOTICS COMPETITION AS A MEANS
OF TRAINING SPECIALISTS**

*Sberbank Robotics Laboratory, Sberbank, Moscow
robotics@sberbank.ru*

Robotics is an area in which complex knowledge of team members is important. Also a high rate of technology introduce strict limitations on choice of educational methods. In our opinion, the most effective way to motivate learning, self-learning and the search for new methods for solving problems is competitive robotics. Additionally, the team captain is tasked with team building, motivation, and performance monitoring. One of these competitions is Eurobot.

Eurobot - international youth competitions in which hundreds of teams from dozens of countries participate. They are divided into “Eurobot Junior” (for children under 18 with easier tasks) and “Eurobot Open” (for young people and older with more difficult tasks) in that there are 4 autonomous robots on the field at the same time (2 from the team),

World Skill Robotics does not require specific equipment requirements (with the exception of safety requirements), a relatively long time frame for designing and manufacturing robots, and the need for a full cycle of developing robots in preparation for competitions.

6-8 months are allotted for preparation for competitions, and every year tasks change a lot, which is why development of completely new robots is necessary. Before robots, both simple and complex tasks and teams are put due to limited resources and, as a consequence of the rapid specific fall of points to increase the complexity of the systems, they should restrict themselves in the number of tasks to be solved.

To achieve a world-class result, it is necessary to build a rather complex systems. Thus, the result was the development of two robots, leading leaders, 7 DC motors, 6 servo drives and 15 different sensors (color, weight, distance, current), control PCs of the upper and tender levels. All equipment except of the localization system, according to the rules, is located inside the compact robots with a perimeter of 850 and a height of 350 mm.

The lower level stack is written in C, tasks are rotated with FreeRTOS, the upper level is written using ROS (robotics operation system) in python and C++.

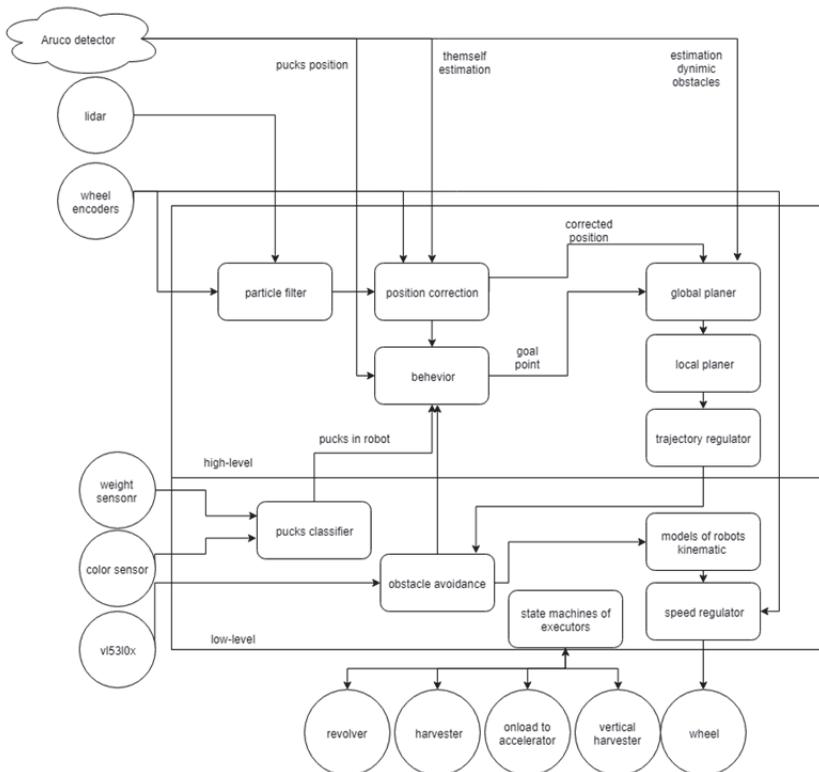


Figure 1 – Conceptual diagram of robots

As can be seen from the scheme, robots contain all subsystems inherent in large robots (taking into account several sources of unreliable information localization, route planning, collision avoidance, actuators). Thus, we can assume that for a period of about six months, the team almost from scratch, based on the experience of last year, develops a simplified version of the logistics robot architecture is almost identical to the architecture of collaborative robots developed by the robotics laboratory of Sberbank, with some simplifications due to the work of robots in a more specific, model environment. The ability to rely on the experience of last year allows not only to design unique robots, but also new, standard for the team, components and software. As an example, the trajectory controller and the system of external localization by Aruco markers have been used for several years with minimal changes.

For all functions in a team, people with different competencies should be involved: designers, high-level programmers, low-level programmers, and electronics engineers. All solve problems at different levels. Determined by the need for evidence:

- limited team members
- rotation of team members between years
- change of participants
- the main design work, as well as the development of electronics, falls on the first half of the project.

Because of the above factors among teams, participants with broad skills are required to make the most of the opportunities. For example, programmers of the lower level - electronics.

Thus, participation in Eurobot robotic competitions allows us to delay very strongly in order to ensure the full development cycle of logistics robots. For participants, the team becomes an opportunity to develop in new directions.

Д.А. Егоров, А.С. Гонноченко
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СОРЕВНОВАНИЯ EUROBOT,
КАК СРЕДСТВО ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ**

*Лаборатория Роботехники Сбербанка, ПАО Сбербанк, Москва
robotics@sberbank.ru*

Робототехника является областью, где важны комплексные знания участников команды, при этом скорость изменения технологий диктует жесткие ограничения на выбор методов обучения. По нашему мнению, наиболее эффективным способом мотивации к обучению, самообучению и поиску новых методов решения задач является соревновательная робототехника. Дополнительно перед капитаном команды ставится задача по формированию команды, мотивации и контролю за выполнением. Одними из таких соревнований является Eurobot.

Eurobot — международные молодёжные соревнования роботов, проводящиеся ежегодно с 1998 года, в которых принимают участие сотни команд из десятков стран. Делятся на «Eurobot Junior» (для детей до 18 лет с более легкими заданиями) и «Eurobot Open» (для молодёжи от 18 и старше лет с более трудными заданиями) в которых на поле одновременно встречаются 4 автономных робота (по 2 от команды),

В отличие от всемирной олимпиады роботов (WRO) и World Skill Robotics не предъявляется требований по конкретному набору используемого оборудования (за исключением требований к безопасности), относительно большой срок на проектирование и изготовление роботов и необходимость в полном цикле разработки робота при подготовке к соревнованиям.

На подготовку к соревнованиям отводится 6-8 месяцев, при этом каждый год задания сильно меняются, из-за чего необходима

разработка полностью новых роботов. Перед роботами ставятся как простые, так и сложные задачи и команды из-за ограниченности ресурсов и в следствии быстрого удельного падения набираемых баллов к росту сложности систем должны сами ограничиваться в количестве решаемых задач.

Не смотря на кажущуюся простоту правил, для достижения результата мирового уровня необходимо построение довольно сложных систем. Например, результатом текущего года стала разработка двух роботов, содержащих лидар, по 7 dc/bldc моторов, по 6 серво приводов и порядка 15 различных сенсоров (цвета, веса, расстояния, тока), управляющие ПК верхнего и нижнего уровней. Все оборудование кроме внешней системы локализации, по правилам, находится внутри компактных роботов с периметром 850 и высотой 350 мм.

Стек нижнего уровня написан на С, задачи ротируются FreeRTOS, верхний уровень написан с применением ROS (robotics operation system) на Python и C++.

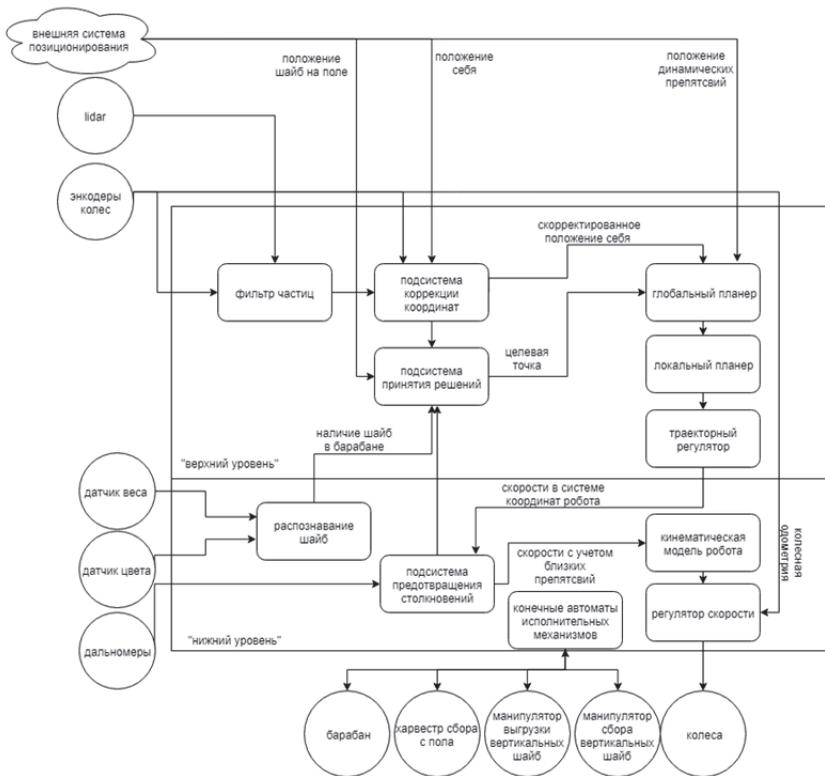


Рисунок 1 – Концептуальная схема роботов

Как видно из схемы, роботы содержат все присущие большим роботам подсистемы (учитывающая несколько источников ненадежной информации локализация, планирование маршрутов, предотвращение столкновений, исполнительные механизмы). Таким образом, можно считать, что за срок около полугода команда практически с нуля, опираясь на опыт прошлого года разрабатывает упрощенный вариант логистического робота архитектура робота практически идентична архитектуре коллаборативных роботов, разрабатываемых лабораторией робототехники Сбербанка, с некоторыми упрощениями из-за работы роботов в более определенной, модельной среде. Возможность опираться на опыт прошлого года позволяет не только проектировать уникальных роботов, но и новые, стандартные для команды, комплектующие и софт. Как пример, уже несколько лет с минимальными изменениями используется траекторный регулятор и система внешней локализации по Агусо маркерам.

Для успешного функционирования команда должна включать людей с различными компетенциями, основными ветвями которых являются: конструкторы, программисты верхнего уровня, программисты нижнего уровня и инженеры электроники. Границы данных компетенций, на практике, являются сильно размытыми из-за чего один человек на разных этапах проекта решает задачи разных направлений. Так же необходимость в искусственном размытии направлений обуславливается следующими факторами:

- ограниченный состав команды,
- ротация членов команды между годами,
- смена участников,
- основная конструкторская работа, а также разработка

электроники приходится на первую половину проекта.

Из-за вышеперечисленных факторов среди команды необходимы участники с широкими навыками для наиболее полного использования потенциала. Например, в этом году часть программистов верхнего уровня занимались так же нижним уровнем, а программисты нижнего уровня – электроникой.

Таким образом, участие в робототехнических соревнованиях Eurobot позволяет за очень сжатый срок пройти полный цикл разработки логистического робота максимально приближенного к полноценному, от сбора команды и проектирования до реализации его в железе и многократном испытании на надежность. Для участников команды это становится возможностью развиваться в новых для них направлениях.

A.R. Efimov, I.A. Stolyarov, D.A. Egorov
EDUCATIONAL ROBOTICS THROUGH PRACTICAL
EXPIRIENCE OF EUROBOT TEAMS

Sberbank Robotics Laboratory, Sberbank, Moscow
robotics@sberbank.ru

Education along with health care are two areas of human activity whose value is constantly increasing. According to the Nobel Prize Winner in Economics L.H Summers [1], over the past 40 years college tuition fees have increased 140 times compared with the cost of consumer electronics, such as TVs.

In other words, a multiple increase in the relative cost of education, accompanied by a decline in the cost of technology, creates at the same time the need for increasing the education's availability and the ability to provide this availability through technology.

Another factor in the modern education's development is the transition to life-learning education (learning during almost the entire human life). First of all, this relates to the education in the field of technology, as the rapid change of technology generations compels all categories of workers to constantly retrain, not only by improving the qualification, but also by changing it.

In a wide sense educational technologies can be used in two ways:

1) transfer of traditional educational content to the audience. For example, the use of VR/AR technology in a biology class at school offers a new method of learning in adapting traditional knowledge that has been available to students for decades.

2) technological skills development for the implementation of product specific prototypes, proof of scientific hypotheses, analysis and data synthesis. For example, creating a unique robot that performs in offline mode a sequence of actions that can dynamically change depending on environmental conditions. This type of training is known as the "project approach".

In our opinion, the transfer approach (1) is not sufficient for a modern knowledge-hungry economy. In particular, a survey conducted by the WEF [2](World Economic Forum) showed that employers will demand from employees following skills:

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 1. Complex problem solving | 6. Emotional Intelligence |
| 2. Critical thinking | 7. Judgement and decision making |
| 3. Creativity | 8. Service orientation |
| 4. People Management | 9. Negotiation |
| 5. Coordinating with others | 10. Cognitive flexibility |

The authors of this article believe that the approach (2) to the modern technologies development is possible in conditions of limited availability of funds and teachers of high qualification. This approach helps students and learners to form a good basis for difficult skills along with the highest skills in these 10 top skills that WEF experts acquire for future generations.

Technologies themselves become a learning tool. Competitive educational robotics in unique educational technologies, where members of a student team work in groups to create reliable and smart robots, capable of solving real-world tasks. Also, the competitive nature makes such an approach to learning more attractive for young talents and sponsors.

In our laboratory, we study how Eurobot competitions help students develop critical skills (WEF). The table below shows our observation and interrelation of skills in teams during the preparation of Eurobot and during the competitions themselves. Our field research includes quantitative interviews with Eurobot (robotics) team.

Critical skills	in Educational robotics
Complex problem solving	Robotics need to evaluate a very diverse set of trial and error with problems in three areas: design and design, software and electronics.
Critical thinking	Roboticians need to sort out opinions of own team members along with mentors and experts. Everyone can be wrong. Finding right answer is key question.
Creativity	Roboticians meet very many engineering constrains like size of robots, time, cost and others. Finding solution out these constrains is very challenging.
People Management	A team of one person has no chance of winning. Successful robotic teams have more than 6 members. Therefore, team leaders and mentors must demonstrate a very good people management skills.
Coordinating with others	Team leaders coordinate multiple tasks, one of which is finding financial sponsors to support their teams.
Emotional Intelligence	Teams are very loosely to manage, so team leaders have no financial instruments of punishment / reward. The only way to control - is to convince the team.
Judgement and decision making	Each team member must make bold and fast decisions based on many variables

- and dimensions.
- Service orientation Service orientation is something that teaches team members to be very useful to each other.
- Negotiation Antagonism between competing teams is very hard. So fair play is key paradigm of engineering competitions. However, misunderstandings still occur. Team members must seek negotiations with others who show different opinions.
- Cognitive flexibility Cognitive flexibility is something to be featured in every challenge. Teams follow simple but winning strategies, changing their approach according to constraints, adversaries and achieved results.
1. Lawrence H. Summers, Economic Possibilities for our children, NBER Reporter, 2013 Number 4
 2. Melanie Curtin, The 10 Top Skills That Will Land You High-paying Jobs by 2020, According to the World Economic Forum

А.Р. Ефимов, И.А. Столяров, Д.А. Егоров
**ПРОЯВЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ БУДУЩЕГО
 В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ
 РОБОТОТЕХНИКЕ НА ПРИМЕРЕ ПРАКТИЧЕСКОГО
 ОПЫТА КОМАНД EUROBOT**

*Лаборатория Роботехники Сбербанка, ПАО Сбербанк, Москва
 robotics@sberbank.ru*

Образование наряду с здравоохранением являются двумя областями человеческой деятельности, стоимость которых постоянно растет. Согласно данным, приведенным лауреатом Нобелевской премии по экономике Л.Х. Саммерсом [1], за последние 40 лет плата за обучение в колледже увеличилась в 140 раз в сравнении со стоимостью потребительской электроники, например телевизоров.

Иными словами, многократное увеличение относительной стоимости образования, сопровождаемое снижением стоимости технологий создает одновременно потребность в увеличении доступности образования и возможность обеспечить эту доступность за счет технологий.

Другим фактором в развитии современного образования является переход к обучению в течении практически всей жизни человека (life-learning education). Прежде всего, это касается образования в области

технологий, так как стремительная смена поколений технологий принуждает все категории трудящихся постоянно переучиваться, не только повышая квалификацию, но и зачастую меняя ее.

В широком смысле, образовательные технологии могут использовать двумя способами:

1) трансляция (передача) традиционного образовательного контента аудитории. Например, использование технологии VR/AR на уроке биологии в школе предлагает новый метод обучения при адаптации традиционных знаний, доступных студентам на протяжении десятков лет.

2) освоение технологических навыков для реализации конкретных прототипов изделий, доказательства научных гипотез, анализ и синтез данных. Например, создание уникального робота, выполняющего в автономном режиме последовательность действий, которая может динамически меняться в зависимости от условий среды. Этот тип обучения известен как «проектный подход».

По нашему мнению, трансляционный подход (1) к обучению является недостаточным для для современной знаниевой экономики. В частности, опрос, проведенный ВЭФ [2](Всемирный Экономический Форум) показал, что работодатели будут требовать от работников следующих навыков:

- | | |
|---|--|
| 1. Комплексное многоуровневое решение проблем | 6. Эмоциональный интеллект |
| 2. Критическое мышление | 7. Формирование собственного мнения и принятие решений |
| 3. Креативность (в широком смысле слова) | 8. Клиентоориентированность |
| 4. Умение управлять людьми | 9. Умение вести переговоры |
| 5. Взаимодействие с людьми | 10. Гибкость ума |

Авторы настоящей статьи полагают, что подход (2) к освоению современных технологий возможен в условиях ограниченной доступности средств и преподавателей высокой квалификации. Этот подход помогает студентам и учащимся в формировании хорошей основы для трудных навыков наряду с высочайшим мастерством в этих 10 лучших навыках, которые эксперты ВЭФ приобретают для будущих поколений.

Технологии сами становятся средством обучения. Конкурентоспособная образовательная робототехника в уникальных образовательных технологиях, где члены команды студентов работают в группах, чтобы создать надежных и умных роботов, способна решать задачи реального мира. Также соревновательный характер делает такой подход к изучению более привлекательной для молодых талантов и спонсоров.

В нашей лаборатории мы изучаем, как соревнования Eurobot помогают формированию у студентов критических навыков (ВЭФ). В таблице ниже показано наше наблюдение и взаимосвязь навыков в командах во время подготовки Eurobot и во время самих соревнований. Наши полевые исследования включают в себя количественные интервью с членами команды Eurobot (робототехники).

Критические навыки	Демонстрация в образовательной робототехнике
Комплексное многоуровневое решение проблем	Робототехникам необходимо оценивать весьма разнообразный набор проб и ошибок с проблемами в трех областях: конструирование и дизайн, программное обеспечение и электроника
Критическое мышление	Робототехникам надо разбираться со мнениями членов собственной команды наряду с наставниками и экспертами. Каждый может ошибаться. Найти правильный ответ - это ключевой вопрос
Креативность (в широком смысле слова)	Робототехники сталкиваются с очень многими инженерными ограничениями, такими как размер роботов, время, стоимость и другие.
Умение управлять людьми	Команда из одного человека не имеет шансов на победу. Успешные робототехнические команды имеют в составе около более 6 человек. Поэтому, руководители команд и наставники должны продемонстрировать очень хорошее умение управлять людьми.
Взаимодействие с людьми	Руководители команд координируют многоплановые задачи, одной из которых является поиск финансовых спонсоров для поддержки своих команд.
Эмоциональный интеллект	Команды управляются очень свободно, поэтому у руководителей нет финансовых инструментов наказания/вознаграждения. Единственный способ управления – убеждение команды.

Формирование собственного мнения и принятие решений	Каждый член команды должен принимать смелые и быстрые решения, основанные на многих переменных и измерениях.
Клиентоориентированность	Сервис-ориентация - это то, что учит членов команды быть очень полезными друг для друга.
Умение вести переговоры	Антагонизм между конкурирующими командами - очень сильный. Так что честная игра - ключевая парадигма инженерных соревнований. Однако недоразумения все же происходят. Члены команды должны стремиться к переговорам с теми, кто придерживается другого мнения.
Гибкость ума	Гибкость ума - это то, что должно быть представлено в каждой задаче. Команды следуют простым, но выигрышным стратегиям, меняя свой подход в зависимости от ограничений, противников и достигнутых результатов

1. Lawrence H. Summers, Economic Possibilities for our children, NBER Reporter, 2013 Number 4
2. Melanie Curtin, The 10 Top Skills That Will Land You High-paying Jobs by 2020, According to the World Economic Forum

M.V. Yarmolinskaya, T.M. Cherkasov
**CREATING CONDITIONS IN SCHOOL FOR THE
DEVELOPMENT OF EXTREME ROBOTICS**

*State budgetary educational institution secondary school №255 with in-
depth study of the subjects of the artistic and aesthetic cycle of the
Admiralteisky district of St. Petersburg
mail@school255.ru*

From the early beginning, competitions for the RTK Cup have become popular and loved among teenagers. Removing tight restrictions in the choice of technical solutions that can be used for creating a robot, on the one hand, and the transparency of competitive criteria, on the other, makes the RTK Cup competitions both creative and sporting. Constantly updated competition field and new, previously absent, challenging tasks for the robot, make the participants go forward all the time, improving both mechanics and algorithms. One should note for these competitions that for beginners the threshold of entry is rather low in terms of the level of training of participants and tools required for creating robots, therefore it is available, and at the same time, it defines the vector of development of skills and technologies from simple to serious high level of robotics. All this makes the direction of extreme robotics attractive for children.

The concept of school technology education orients teachers to a new level of technology available to students at school. The lessons in of technology the new format, supplemented by the extracurricular activities of students, can create new opportunities for training children in the field of extreme robotics.

The development of the robot involves mechanics design, electronic and algorithmic components. Depending on the complexity of the goals, there are three options for organizing classes in extreme robotics which can be offered, bear in mind the draft the new educational standard of basic general education (grades 5–9), which was discussed in March-April 2019. It was proposed to organize the teaching of the subject technology according to the modular principle and equip schools in accordance with the following modules: “Production and Technologies”, “Materials and Food Products Processing Technologies”, “Robotics”, “Automated Systems”, “3D-modeling and prototyping”, “Computer graphics and drawing.”

Option 1: Creation of extreme robots from ready-to-use educational robotics constructors (the subject of "Technology" module "Robotics"). Such robots are quite competitive, but only at the RTK-mini test site. Two hours per week of classes in extracurricular activities should be enough to prepare teams and participate in the RTK-mini Cup.

Option 2: Extending robots from robotic constructors by third-party components, including their own design for improvement of characteristics

of robots (increased maneuverability, manipulation). Development of new components in CAD and subsequent production using 3D printing and laser cutting (the subject "Technology" modules are "3D modeling and prototyping" and "Computer graphics and drawing"). Integration of in-class and extra-curricular activities.

Option 3: Development of robots from scratch on electronic and structural components that are not coming from robotics constructors. For example, utilizing embedded controllers like Arduino or Rasberry Pi; creating our own original designs and mechanical parts, etc. From the standard educational modules offered, this could be the "Automated Systems", although "Electrotechnics and Electronics" would fit better even it is not considered in the subject of "Technology" but can be implemented as a supplemental education program. It will require specially equipped workplaces for working with electronics (soldering irons, testers, exhaust, etc.). Such classes could be organized as an integration of technology lessons, extracurricular activities, and classes in the supplementary education department.

In all three options, the qualifications of the teacher must correspond to the equipment of workplaces and the level of technical equipment, which is currently a challenging problem and the issue of training and retraining teachers of "Technology" should be solved first. Everything described can be implemented at school, and taking into account the current program of gradual reequipment of technology classrooms, it seems to be quite realistic. Purchase of additional components for the robot can be addressed for sponsorship. The development of methodological support is a topic for lead schools. From our side, we are currently working on programs for extracurricular activities of a technical nature and after testing they will be published on our portal proiskra.ru.

М.В. Ярмолинская, Т.М. Черкасас
**СОЗДАНИЕ УСЛОВИЙ В ШКОЛЕ ДЛЯ РАЗВИТИЯ
ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ**

*Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа №255
с углубленным изучением предметов художественно-эстетического
цикла Адмиралтейского района Санкт-Петербурга
mail@school255.ru*

С момента своего основания соревнования на Кубок РТК стали популярны и любимы среди подростков. Отсутствие жестких ограничений в выборе технических средств, которые можно использовать при построении робота, с одной стороны, и прозрачность соревновательных критериев, с другой, делает состязания Кубка РТК одновременно и творческими, и спортивными. Постоянно обновляемый соревновательный полигон и новые, отсутствовавшие ранее, интересные задачи для робота, заставляют участников все время идти вперед, совершенствуя конструкцию и алгоритмы. Особенность этих соревнований в том, что для новичков порог вхождения довольно низок по уровню подготовки участников, поэтому доступен, и при этом сразу задает вектор развития навыков и технологий от простого к серьезному взрослому уровню робототехники. Все вышесказанное делает направление экстремальной робототехники интересным для детей.

Концепции школьного технологического образования ориентирует педагогов на новый уровень технологий, доступных учащимся в школе. Уроки технологии в новом формате, дополненные внеурочной деятельностью учащихся, могут создать новые возможности для подготовки детей по направлению экстремальной робототехники.

Разработка робота предполагает конструкторскую, электронную и алгоритмическую компоненты. В зависимости от сложности целей можно предложить 3 варианта организации занятий по экстремальной робототехнике с учетом проекта нового образовательного стандарта основного общего образования (5 - 9 классы), обсуждение которого проходило в марте-апреле 2019 года. Предложено организовать преподавание предмета технология по модульному принципу и оснастить школы в соответствии со следующими модулями: «Производство и технологии», «Технологии обработки материалов, пищевых продуктов», «Робототехника», «Автоматизированные системы», 3D-моделирование, прототипирование и макетирование», «Компьютерная графика, черчение».

1 вариант: Создание экстремальных роботов из робототехнических конструкторов (предмет «Технология» модуль «Робототехника»). Такие роботы вполне конкурентоспособны, но только на полигоне РТК-мини. 2 часа в неделю занятий в рамках внеурочной деятельности позволят подготовить команды и участвовать в кубке РТК-мини.

2 вариант: Дополнение роботов из образовательных конструкторов сторонними компонентами, в том числе собственной разработки, для улучшения характеристик роботов (повышение проходимости, манипулирования). Разработка компонентов в САПР и последующее изготовление с помощью 3D-печати и лазерной резки (предмет «Технология» модули «3D-моделирование, прототипирование и макетирование» и «Компьютерная графика, черчение»). Интеграция урочной и внеурочной деятельности.

3 вариант: Разработка роботов с нуля на электронных и конструктивных компонентах, не являющихся робототехническими конструкторами. Использование, например, контроллеров на Ардуино, Raspberry Pi; разработка собственных оригинальных конструкций, и пр. Из предлагаемых стандартом модулей это модуль «Автоматизированные системы», хотя напрашивается «Электротехника и электроника», которые не выделены как модуль предмета «Технологии», но могут реализовываться как программы дополнительного образования. Требуется специально оборудованные рабочие места для работы с электроникой (паяльники, тестеры, вытяжка и пр.). Организационно занятия могут интегрировать уроки технологии, внеурочную деятельность и занятия в отделении дополнительного образования.

Во всех трех вариантах квалификация педагога должна соответствовать оснащению рабочих мест и уровню технологического оборудования, что на данный момент является большой проблемой и вопрос подготовки и переподготовки педагогов технологии предстоит решать.

Все описанное может быть реализовано в школе, а с учетом программы постепенного переоснащения кабинетов технологии видится вполне реальным с точки зрения оборудования. Закупка дополнительных комплектующих для робота – вопрос спонсорского участия. Разработка методического сопровождения – тема для школьных лидеров. Со своей стороны, мы сейчас работаем над программами внеурочной деятельности технической направленности, апробируем их и публикуем на своем портале proiskra.ru.

L.A. Lototskii
ROBOTICS AT MY SCHOOL FROM WEDO 2.0 TO ARDUINO

*MBOU "School №37", Vyborg, Russia
alexloto72@yandex.ru*

Our school has been developing robotics for the last 3 years. In the first year, it all started with the purchase of educational sets LEGO Mindstorms EV3.

The first year of training showed that children can be divided into 3 groups:

- 1) Designers (engineers) - prefer to assemble robots, but are not good at programming or they are not interested in this stage of work.
- 2) Programmers – do it show interest in writing programs for robots and can do it the building process does not inspire them.
- 3) Generalists are equally good at in both design and programming skills.

A group of programmers and generalists turned out to be the smallest, so we set the task to raise children who are passionate about robotics since primary school. For this reason, in the second year of work we purchased sets for Junior school LEGO WEDO 2.0. To study "Robotics" school put on an educational conveyor that helped us to train 4 class pupils during extracurricular activities, which allowed us:

- to acquaint children with robotics, project activities and programming, both in WEDO 2.0 and Scratch;
- to identify capable and interested children at an early stage with whom we will continue to work hard within the framework of both additional education and the formation of the profile class.

At the same time there was a problem with the fact that older pupils outgrew LEGO with its limitations on the platform and they need to move to more serious level. Special sets were purchased for them based on ARDUINO. And here we are talking about individual work with those who have already gone through LEGO and have not dropped out, have not lost interest in "robotics".

A group of "designers" develop their skills through participation in robotics competitions "Cup of RTK mini" for the category of 10+; project activities from participation in the municipal stage of the educational-research conference of students of the municipality "Vyborg district" to the all-Russia festival "RoboFinist".

"Programmers" and "universalists" are trained through participation in various robotics nominations to JuniorSkills that require concerted teamwork skills.

We plan: expanding the material base of educational designers LEGO Education SPIKE Prime, VEX IQ, EduBot.

А.Л. Лотоцкий
**РОБОТОТЕХНИКА В МОЕЙ ШКОЛЕ
ОТ WEDO 2.0 ДО ARDUINO**

*МБОУ «СОШ №37», г. Выборг
alexloto72@yandex.ru*

Наша школа развивает направление «Робототехника» на протяжении последних 3 лет. В первый год работы все началось с покупки образовательных наборов LEGO Mindstorms EV3.

Первый год обучения показал, что ребят условно можно разделить на 3 группы:

- 1) Конструкторы (инженеры) – предпочитают собирать роботов, но не дружат с программированием или им не интересен этот этап работы.
- 2) Программисты – могут и проявляют интерес к написанию программ для роботов, но процесс сборки их не вдохновляет.
- 3) Универсалы – одинаково хорошо владеют как навыками конструирования, так и программирования.

Группа программистов и универсалов оказалась самой малочисленной, поэтому мы поставили задачу растить ребят, увлеченных робототехникой с начальной школы. По этой причине на второй год работы приобрели наборы для младшей школы LEGO WEDO 2.0. Изучение «Робототехники» школа поставила на некий образовательный конвейер, через который в рамках внеурочной деятельности пропускаем все 4 классы, что позволило нам:

- познакомить ребят с робототехникой, проектной деятельностью и программированием, как в среде WEDO 2.0 так и Scratch;
- на раннем этапе выявить способных и заинтересованных ребят, с которыми мы усиленно продолжим работать в рамках, как дополнительного образования, так и формирования профильного класса.

Параллельно возникла проблема с тем, что старшие ребята переросли LEGO с его ограничениями по платформе и для них требуется переход на более серьезные решения. Для таких ребят были приобретены наборы, в основе которых лежит ARDUINO. И здесь идет речь уже об индивидуальной работе с теми ребятами, которые прошли уже через LEGO и не отсеялись, не потеряли интерес к «робототехнике».

Группу «конструкторов» развиваем через участие в робототехнических соревнованиях «Кубок РТК мини» для категории 10+; проектную деятельность от участия в муниципальном этапе учебно-исследовательской конференции школьников МО «Выборгский район» до всероссийского фестиваля «РобоФинист».

Навыки группы «программистов» и «универсалов» оттачиваем через участие в различных робототехнических номинациях до ЮниорПрофи, где требуются слаженные навыки командной работы.

Планы: расширение материальной базы образовательными конструкторами LEGO Education SPIKE Prime , VEX IQ, EduBot.

G.A. Pinchuk
**DEVELOPMENT AND PROMOTION OF EDUCATIONAL
ROBOTICS IN SMALL CITIES**

*Municipal budgetary institution of additional education
"Information Technology Center", Kingisepp,
Leningradskaya oblast, Russia
pinchuk-ga@kngcit.ru*

Robotics is the most important direction for the future technological and economic development of the country. Educational robotics makes a significant contribution to the vocational guidance of modern students. Therefore, it is important that robotics circles develop everywhere.

Small cities with a population of 30–60 thousand people located remotely from regional centers experience a number of difficulties in promoting innovative educational ideas. Problems include inadequate transport accessibility, insufficient human resources, and poor financing.

In order to draw attention to such areas as educational robotics, we, in addition to circle activities, conduct large-scale events combining circle competitions, exhibition and educational activities, issues of vocational guidance for students, and master classes.

Such events were the “Start into the Future” District Robotics Forum with international participation, the “Professions of the Future” Foresight Conference, in which teams from the nearest districts of the Leningrad Region and Estonia are invited to participate.

The partners are universities and research institutes, including the Central Scientific Research Institute RTC, as well as equipment suppliers.

The holding of such events contributed to increasing interest in educational robotics from children and their parents and to the emergence of support from the district administration. As a result, our children began to fall into such competitions as Robofest, RTK Cup, JuniorSkills and bring prizes.



Figure 1 – Robotics Forum Participant



Figure 2 – Partners Forum CSRI RTK

Г.А. Пинчук
**РАЗВИТИЕ И ПРОДВИЖЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
РОБОТОТЕХНИКИ В МАЛЫХ ГОРОДАХ**

*Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного
образования «Центр информационных технологий»,
г. Кингисепп, Ленинградская обл.
pinchuk-ga@kngcit.ru*

Робототехника является важнейшим направлением для будущего технологического и экономического развития страны. Образовательная робототехника выполняет весомый вклад в профориентацию современных школьников. Поэтому важно, чтобы кружки робототехники развивались повсеместно.

Малые города с населением 30-60 тысяч человек, расположенные удаленно от региональных центров, испытывают ряд трудностей при продвижении инновационных образовательных идей. В число проблем входит неудовлетворительная транспортная доступность, недостаточный кадровый потенциал, слабое финансирование.

Для привлечения внимания к таким направлениям, как образовательная робототехника, мы помимо кружковой деятельности, проводим масштабные мероприятия, объединяющие состязания кружковцев, выставочную и просветительскую деятельность, вопросы профессиональной ориентации для учащихся, мастер-классы.

Таковыми мероприятиями стали Окружной форум по робототехнике «Старт в будущее» с международным участием, Форсайт-конференция «Профессии будущего», к участию в которых приглашаются команды из ближайших районов Ленинградской области и Эстонии.

В качестве партнеров выступают ВУЗы и НИИ, в том числе ЦНИИ РТК, а также поставщики оборудования.

Проведение таких мероприятий способствовало повышению интереса к образовательной робототехнике со стороны детей и их родителей и появлению поддержки со стороны администрации района. В результате наши дети стали попадать на такие соревнования, как Робофест, Кубок РТК, JuniorSkills и приносить призовые места.



Рисунок 1 – Участник Форума по робототехнике



Рисунок 2 – Партнеры Форума ЦНИИ РТК

P.N. Pustynnik
**ROBOTICS IN EDUCATION:
 PROBLEMS AND SOLUTIONS**

*The Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg
 petr30@yandex.ru*

Educational robotics (ER) is called a metasubject discipline, as theoretically it can be taught in the educational process (tabl. 1).

Table 1. Academic subject and element of ER

The Subject	Element
Informatics	Algorithms. Computer language
Physics	Robot mechanics
Technology	Technology of designing robots. Technical project

In Federal State Educational Standard-3 [1] on General education (2019), time is allocated to study the basics of ER (tabl. 2).

Table 2. The period of the study ER

Period	Element
Informatics	
2 and 3 years	One of programming languages (school algorithmic language, Pascal, Python, Java, C, C#, C++)
Technology	
Module 3	Robotics
Module 4	Automated systems
Module 5	3D modeling, prototyping and prototyping
Module 6	Computer graphics. Drawing

For teaching schoolchild the materials of modules 4 and 6, it is necessary either to train teachers of Informatics technology or to involve teachers of Informatics in teaching technology. How can teachers be interested in learning new subjects?

Problem: low wages, since the rate of teacher 11 600 rubles, and then added coefficients: for category, for the presence of the honorary title, etc., young teachers are not eligible for surcharge.

The solution to this problem is to set the teacher's rate at the level of not less than 30 000 rubles on the territory of the Russian Federation, regardless of the location of the school – urban or rural areas. This will increase the prestige of teachers, and graduates of pedagogical universities will work in the specialty, and not where higher wages.

1. Draft new standard of basic General education (grades 5 - 9). URL: <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/57359.html/> (accessed 30.04.2019).

П.Н. Пустыльник
**РОБОТОТЕХНИКА В ОБРАЗОВАНИИ:
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

*ФГБУ ВО «Российский государственный педагогический
университет им. А. И. Герцена», Санкт-Петербург
petr30@yandex.ru*

Образовательную робототехнику (ОР) называют метапредметной дисциплиной, так как теоретически ее можно преподавать в рамках учебного процесса (см. табл. 1).

Таблица 1. Учебный предмет и элемент ОР

Предмет	Элемент
Информатика	Алгоритмы. Языки программирования
Физика	Физика роботов
Технология	Конструирование роботов. Технические проекты

Во ФГОС 3 для общего образования (2019) [1] для изучения основ ОР выделено время (см. табл. 2).

Для преподавания модулей 4 и 6 надо или обучать учителей технологии информатике или учителей информатики привлекать для преподавания технологии. Как заинтересовать учителей осваивать новые учебные предметы?

Таблица 2. Период изучения элементов ОР

Период	Элемент
Информатика	
2 и 3 годы	Один из языков программирования (Школьный Алгоритмический Язык, Паскаль, Python, Java, C, C#, C++)
Технология	
Модуль 3	Робототехника
Модуль 4	Автоматизированные системы
Модуль 5	3D-моделирование, прототипирование и макетирование
Модуль 6	Компьютерная графика, черчение

Проблема: низкая оплата труда, так как ставка учителя 11 600 рублей, а далее добавляются коэффициенты: за стаж работы, за категорию, за наличие почетного звания и т.д. У молодых учителей нет права на многие доплаты.

Решение этой проблемы – установление ставки учителя на уровне не ниже 30 000 рублей на территории РФ не зависимо от места расположения школы – городская или сельская местность. Это повысит престиж работы учителя, и выпускники педагогических вузов будут работать по специальности, а не там, где выше оплата труда.

1. Проект нового стандарта основного общего образования (5 - 9 классы). URL: <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/57359.html/> (дата обращения 30.04.2019).

O.P. Menshikov
**ORGANIZATION OF ACTIVITIES OF THE CIRCLE
OF EDUCATIONAL ROBOTICS**

VIT "ERA", G. K. Anapa 2019, Russia
olejka_vmi@mail.ru

We live in the age of information technology, science and technology. And the most popular profession in the country and the world is the profession of engineer. However, given the lack of qualified specialists in the design of automatic control systems, and accurate mechanisms, clearly expressed the problem of the lack of a unified system of training and identification of personnel at the stage of development and formation of the individual.

Starting the training of children "from scratch" it is difficult to determine the composition and number of the Association, to choose the necessary equipment, its number and supplier. The simplest and most profitable solution for beginning teachers is to participate in simple, affordable and effective competitions. The most common is the competitive direction "Halo, Robot", "Cup mini RTC", "RTC Cup" nomination "the Seeker" and has a great variety of competitions for aspiring engineers. However, the competitive direction "RTK Cup" (against others) is exciting, spectacular and the most effective in the training of young specialists of extreme robotics, used in practice in the Ministry of emergency situations, the Ministry of defense and some other structural units.

The obvious need of the interested organizations is revealed in the presence of the trained young people capable not only to solve an objective, but also capable to serve independently and to put into practice complex technical devices, their components and mechanisms.

The solution to this problem can be timely and sufficient equipment of institutions with specialized focus of material and technical base, unified and standardized training system, qualified mentors. Continuous improvement of professional skills in practice in the conditions of approximate to real, continuous exchange of experience and improvement of noble professionalism.

О.П. Меньшиков
ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КРУЖКА
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

ВИТ «ЭРА», г./к. Анапа 2019
olejka_vmi@mail.ru

Мы живём в веке информационных технологий, достижений науки и техники. И самой востребованной профессией в стране и мире становится профессия инженер. Однако, учитывая нехватку квалифицированных специалистов в области проектирования систем автоматического управления, и точных механизмов, явно выражена проблематика отсутствия единой системы подготовки и выявления кадров на стадии развития и становления личности.

Начиная обучение детей «с нуля» сложно определить состав и численность объединения, выбрать необходимое оборудование, его количество и поставщика. Наиболее простым и выгодным решением начинающих педагогов является участие в простых, доступных и эффективных соревнованиях. Наиболее распространёнными является соревновательное направление «Хэлоу, Робот», «Кубок РТК мини», «Кубок РТК» номинация «Искатель» и ещё великое множество соревнований для начинающих инженеров. Однако, соревновательное направление «Кубок РТК» (на фоне других) является захватывающим, зрелищным и наиболее эффективным при подготовке молодых специалистов экстремальной робототехники, применяемым на практике в МЧС, МО РФ и некоторых других структурных подразделениях.

Выявляется явная потребность заинтересованных организаций в наличии обученных молодых людей, способных не только решать поставленную задачу, но и способных самостоятельно обслуживать и применять на практике сложные технические устройства, их узлы и механизмы.

Решением данной проблемы может быть своевременное и достаточное оснащение учреждений специализированной направленности материально-технической базой, унифицированной и стандартизированной системой обучения, квалифицированными наставниками. Постоянное повышение профессиональных навыков на практике в условиях приближённым к реальным, непрерывный обмен опытом и совершенствование благородного профессионализма.

**COLLABORATIVE ROBOTICS /
КОЛЛАБОРАТИВНАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

V.P. Andreev

**THE CONCEPT OF USING THE THEORY OF MULTI-AGENT
SYSTEMS TO DESIGN CONTROL SYSTEMS FOR MOBILE
ROBOTS WITH MODULAR ARCHITECTURE**

*MSTU "STANKIN", IINET RSUH,
IL "Sensorika", Russia, Moscow
andreevvipa@yandex.ru*

The approach to the solving of the actual fundamental and applied scientific problem – development of principles and methods of robotic complex and systems design with modular architecture based on pyramidal (hierarchical) build-up topology of their computational and control systems is considered. Modular architecture makes it possible to execute fast reconfiguration of robotic systems. The use of hierarchical topology for constructing the robot's IMCS, when each module and submodule has its own IMCS with a separate processing unit, allows increasing the computation speed in the system by distributing the computational load between the modules computing devices. It begs an analogy with such directions of scientific research in the field of information technologies as distributed information systems, computer networks, methods of artificial intelligence. Achievements in these areas are integrated in research, united by the common name "multi-agent systems". In this paper, we consider an approach that allows us to describe the hierarchical topology of the design of the robot's IMCS with modular architecture in terms of multi-agent systems, which will allow us to use modern achievements in this scientific field.

*Research is supported by the Russian Foundation for Basic Research:
Grant 19-07-00892a.*

В.П. Андреев
**КОНЦЕПЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕОРИИ
МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С
МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

*МГТУ «СТАНКИН», МИНОТ РГГУ,
МЛ «Сенсорика», Москва
andreevvipa@yandex.ru*

Рассмотрен подход к решению актуальной фундаментальной и прикладной научной задачи – разработка принципов и методов создания робототехнических комплексов и систем с модульной архитектурой на основе пирамидальной (иерархической) топологии построения их вычислительных и управляющих систем. Модульная архитектура позволяет реализовать оперативное реконфигурирование робототехнических систем. Использование иерархической топологии для построения информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) робота, когда каждый модуль и submodule имеет собственную ИИУС с отдельным вычислителем, позволяет увеличить быстродействие системы за счёт распределения вычислительной нагрузки между вычислительными устройствами модулей. Напрашивается аналогия с такими направлениями научных исследований в области информационных технологий, как распределенные информационные системы, компьютерные сети, методы искусственного интеллекта. Достижения в перечисленных областях интегрируются в исследованиях, объединяемых общим названием “многоагентные системы”. В настоящей работе рассмотрен подход, позволяющий описать иерархическую топологию построения ИИУС роботов с модульной архитектурой в терминах мультиагентных систем, что позволит использовать современные достижения в этой области.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ: Грант 19-07-00892а.

R.R. Galin^{1,2}, P.M. Trefilov²
**THE IMPACT OF COLLABORATIVE ROBOTIC SOLUTIONS
FOR INCREASING EFFICIENCY OF HUMAN ACTIVITIES**

¹*Moscow State Technological University “STANKIN”,
Moscow, rinat.r.galin@yandex.ru*

²*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of
Sciences, Moscow, grr@ipu.ru, petertrfi@gmail.com*

Abstract

This paper describes the role and place of collaborative robotics of automation in different human activities in the context of rapid industrial development. Collaboration of humans and robots in close proximity in a single workspace is a stimulating feature of Industry 4.0. To urgent research, issues in the field of modern robotics include problems of developing safer robots in the human-machine interaction systems. Due to the close collaboration between humans and robots, many of the problems of robotics are associated not only with technical issues, but also with social aspects. Optimization and automation of human activities through the introduction of robotic solutions is widely used. In the future it will become the basis of all business processes.

Key words: robotic automation, cooperation, coexistence, human-robot interaction, collaboration, collaborative robots, safety issue.

The development of robotics and the efficiency of its application affect the increase in productivity and improves the quality of products, contributes to the modernization of technological processes. As the functional capabilities of robots have grown, the number of their possible applications in various fields of human activities has increased many times and different ways, however, today many workflows are still impossible to use with full automation. Thus, there is a real need for the collaboration of a human and robot in the performance of tasks. Human participation in the production process together with a collaborative robot creates a complex control system, let's call it an ergatic robotic control system of a collaborative robot. The task of this ergatic system is to collaborate the process of human-robot interaction, where the elements of the system are intelligent agents. It is necessary to take into account the organization of interaction and coordinate the capabilities of the intellectual agents in the solution of production tasks.

Robotics that intended as “the branch of technology that deals with the design, construction, operation, and application of robots” is a very wide, complex and multidisciplinary matter. Therefore, the classification of robots is not trivial nor unique. In understanding of human-robot interaction taxonomy allows you to understand the principles and practices of

classification and systematization of complex hierarchically correlated entities.

There is an important aspect related to human safety in HRI. First, human safety is provided by international standards and regulations. In human-robot interaction the following take into account: the harm caused by the collision of a human and a robot, the psychophysiological effect of contact with a robot, not a safe approach to the robot in the workspace, setting robot's sensors and the correctness of the control algorithms of the robotic system. The development of a perfect taxonomy of standards will continue as the technology improves. It should assume that the period when the peak of technological progress will never come due to the complexity of knowledge of human nature and the limitless of his consciousness. However, we are trying to rely on the developed rules and exist classification of the basic safety standards to build an effective control system in the ergatic robotic system.

Collaborative robotic solutions have received a strong impetus to its widespread use today. The application of technologies of artificial intellect, adaptive learning and vision systems greatly enhances the ability of robots. Taking into account the tightness of collaborative robots, such as compactness, easy reprogramming and standardization in the field of safety allows expanding the scope of their application.

Creation of conditions for collaboration between the human and the robot will provide efficiency and productivity of technological processes at the expense of division and automatization of operations. In the future, it is necessary to solve complex problems of information processing in the interaction of a human and robot, the study of human-agent characteristics in the robotic system HRI, also to investigate effective solutions for the distribution of functions between humans and robots with different degrees of autonomy.

The reported study was partially funded by RFBR according to the research project № 19-08-00331.

1. Robot or cobot: The five key differences. Hannover Messe, 18 October 2016. Homepage: <http://www.hannovermesse.de/en/news/robot-or-cobot-the-five-key-differences.xhtml>, last accessed 2019/04/11.
2. ISO/TC 299 Robotics – “ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots”. Homepage: <https://www.iso.org/standard/62996.html>, last accessed 2019/04/11.
3. Yurevich E. Fundamentals of robotics. Saint-Petersburg. Publishing: BHV-Petersburg. (2017), 284 p.
4. Galin R. Virtual polygon for effective interaction of robots in a multi-agent robotic system // News of Kabardino-Balkar scientific center of RAS, (2018). № 6 (86) Part II. pp. 108-113.

5. Khalid A., Kirisci P., Ghrairi Z., Thoben K-D. and Pannek J. (2017). Towards implementing safety and security concepts for human-robot collaboration in the context of Industry 4.0 39th International MATADOR Conference on Advanced Manufacturing (Manchester, UK) pp 0–7.
6. Schmidtler J., Knott V., Hölzel C. & Bengler K. (2015). Human Centered Assistance Applications for the working environment of the future. Occupational Ergonomics, 12(3), pp. 83-95.
7. Robla-Gomez S. et al. (2017) Working Together: A review on safe human-robot collaboration in industrial

Р.Р. Галин^{1,2}, П.М. Трефилов²

ВЛИЯНИЕ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

¹Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, rinat.r.galin@yandex.ru

²Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, grr@ipu.ru, petertrfi@gmail.com

Аннотация

В статье описываются роль и место коллаборативной робототехники в автоматизации различных видов человеческой деятельности в условиях бурного промышленного развития. Коллаборация человека и робота в единой рабочей зоне является стимулирующей особенностью Индустрии 4.0. К актуальным исследованиям в области коллаборативной робототехники относятся проблемы разработки безопасных роботов в системах человеко-машинного взаимодействия. За счет тесного взаимодействия человека и робота, большинство проблем робототехники связаны не только с техническими вопросами, но и с социальными аспектами. Широко используется оптимизация и автоматизация деятельности человека за счет внедрения роботизированных решений. В перспективе это станет основой всех бизнес-процессов.

Ключевые слова: автоматизация, кооперация, сосуществование, взаимодействие человека и робота, коллаборация, коллаборативные роботы, безопасность.

Развитие робототехники и эффективность ее применения влияют на повышение производительности труда и повышение качества выпускаемой продукции, что также способствует модернизации технологических процессов. По мере роста функциональных возможностей роботов многократно возросло количество их возможных применений в различных сферах деятельности человека,

тем не менее на сегодняшний день множество рабочих процессов по-прежнему остаются невозможны в использовании при полной автоматизации. Таким образом, возникает потребность в совместной работе человека и робота при выполнении поставленных задач. Участие человека в производственном процессе совместно с коллаборативным роботом создает сложную систему управления – назовем ее эргатической робототехнической системой управления коллаборативным роботом. Задача данной эргатической системы заключается в коллаборации процесса взаимодействия человека и робота, где элементы системы – интеллектуальные агенты. Необходимо учитывать организацию взаимодействия и согласовывать возможности рассматриваемых интеллектуальных агентов при решении поставленных производственных задач.

Робототехника – это отрасль технологий, в перечень вопросов которой относятся: проектирование, конструирование, эксплуатация роботов. В понимании человеко-робототехнического взаимодействия таксономия позволяет понять принципы и практику классификации и систематизации сложных иерархически взаимосвязанных объектов.

Существуют важные аспекты, связанные с безопасным взаимодействием человека и робота. Во-первых, безопасность обеспечивается за счет стандартов и нормативных актов. При взаимодействии человека и робота необходимо учитывать следующее: вред, причиненный столкновением человека и робота, психофизиологический эффект контакта с роботом, небезопасный подход к роботу в рабочем пространстве, установка датчиков робота и правильность алгоритмов управления робототехнической системой. Разработка совершенной таксономии стандартов будет продолжаться по мере совершенствования технологии. Следует предположить, что пик технического прогресса никогда не наступит из-за сложности познания природы человека и безграничности его сознания. Тем не менее, мы пытаемся опираться на разработанные правила и существующие классификации основных норм безопасности для построения эффективной системы управления в эргатической робототехнической системе.

Применение технологий искусственного интеллекта, адаптивного обучения и систем технического зрения значительно повышают возможности роботов. Учет характеристик коллаборативных роботов, таких как компактность, простота перепрограммирования и стандартизация в области безопасности позволяет расширить сферу их применения.

Коллаборативная робототехника сочетает в себе лучшие качества человека и робота. Свойства робота позволяют достичь высокого уровня точности, скорости и повторяемости. В сочетании с

когнитивными характеристиками человека процесс взаимодействия позволит достичь лучших показателей.

Создание условий для взаимодействия человека и робота обеспечит эффективность и продуктивность технологических процессов за счет разделения и автоматизации операций. В дальнейшем необходимо решить сложные задачи обработки информации при взаимодействии человека и робота, изучить характеристики человека-агента в робототехнической системе, а также исследовать эффективные решения для распределения функций между людьми и роботами с различной степенью автономности.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00331.

1. Robot or cobot: The five key differences. Hannover Messe, 18 October 2016. [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://www.hannovermesse.de/en/news/robot-or-cobot-the-five-key-differences.xhtml>, (Дата обращения: 04.11.2019).
2. ISO/TC 299 Robotics – “ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots”. [Электронный ресурс], Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/62996.html>, (Дата обращения: 04.11.2019).
3. Юревич Е. Основы робототехники. Санкт-Петербург. Издательство: БХВ-Петербург. (2017), 284 с.
4. Галин Р.Р. Виртуальный полигон для эффективного взаимодействия роботов в многоагентной робототехнической системе // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6 (86) часть II. с. 108-113.
5. Khalid A., Kirisci P., Ghrairi Z., Thoben K-D. and Pannek J. (2017). Towards implementing safety and security concepts for human-robot collaboration in the context of Industry 4.0 39th International MATADOR Conference on Advanced Manufacturing (Manchester, UK) pp 0–7.
6. Schmidtler J., Knott V., Hölzel C. & Bengler K. (2015). Human Centered Assistance Applications for the working environment of the future. Occupational Ergonomics, 12(3), pp. 83-95.
7. Robla-Gomez S. et al. (2017) Working Together: A review on safe human-robot collaboration in industrial environments, IEEE Access 5, pp. 26754–26773.

A.N. Semochkin, S. Zabihifar, A.R. Efimov
**GRASPING OF OBJECTS BY MANIPULATOR WITH
SPECIFIED METHOD USING KEYPOINTS**

Sberbank Robotics Laboratory, Moscow
Semochkin.A.N@sberbank.ru, Zabikhifar.S@sberbank.ru,
AREfimov@sberbank.ru

The solution of the problem of taking objects by the manipulator at pre-defined points and pre-defined grasping methods for cases of arbitrary location and orientation of objects is considered. The main idea is to search on a real object for key points specified by the human operator in the image of this object. Due to the fact that these points can be localized on the object, it is possible to scale the sequence of robot manipulations recorded for one case, on the situation of arbitrary location and orientation of the object in the working area of the robot. For recognition of the set points and capture of object in vicinities of the specified points the robot manipulator equipped with working body in the form of a combination of the camera of depth and anthropomorphic grasping system is used.

To solve the problem of finding key points in the image of the object, we relied on the works [1], [2], which used convolutional neural network. Using a neural network, we can map from the color image space to the descriptors space in such a way that for two pixels from two different object images corresponding to one point on the object surface, the distance between their descriptors is minimal. As a result of this training, the neural network forms an idea of the shape of the object from any of its image. In our work, we use a robot manipulator to automatically create a dataset for training such a neural network. We also propose a new automatic method of capturing an object at user-defined points, applicable to grippers with a large number of degrees of freedom such as the anthropomorphic brush used in our installation, and to simpler ones. In our experiments, the user defines two key points on the image of the object, then in free-motion mode, the robot moves by human so as to capture the object in a certain place with a certain orientation and configuration of the gripper. The training procedure can be easily performed using a graphical user interface without programming. Grasping an object and manipulating it is carried out in the same way as humans do, since anthropomorphic hand is used (Fig. 1).



Figure 1 – Different configurations of anthropomorphic hand when manipulating an object

The novelty of these demonstrations is that our method is able to handle large variations within a category of objects without any specific configuration for a particular type of objects.

In this paper, we present an approach to object manipulation using semantic key points, which provides the ability to operate on classes of objects of different sizes and deformations. Moreover, it allows you to form actions to capture and move the object in an interactive mode of interaction between the human operator and the robot without the need for programming tasks.

1. P. R. Florence, L. Manuelli, and R. Tedrake, “Dense Object Nets: Learning Dense Visual Object Descriptors By and For Robotic Manipulation,” arXiv, pp. 1–12, 2018.
2. M. Klingensmith, I. Dryanovski, S. Srinivasa, and J. Xiao, “Chisel: Real Time Large Scale 3D Reconstruction Onboard a Mobile Device using Spatially Hashed Signed Distance Fields,” *Robotics: Science and Systems*, vol. 4, 2015.

А.Н. Сёмочкин, Сейедхассан Забихифар, А.Р. Ефимов
**ЗАХВАТ ОБЪЕКТОВ МАНИПУЛЯТОРОМ ОПРЕДЕЛЕННЫМ
СПОСОБОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК**

*ПАО Сбербанк, Лаборатория робототехники, Москва,
Semochkin.A.N@sberbank.ru, Zabikhifar.S@sberbank.ru,
AREfimov@sberbank.ru*

Рассматривается решение задачи взятия объектов манипулятором в заранее определенных точках и заранее определенными способами захвата для случаев произвольного расположения и ориентации объектов. Основная идея заключается в поиске на реальном объекте ключевых точек, задаваемых оператором-человеком на изображении этого объекта. В силу того, что эти точки можно локализовать на объекте, то возможно масштабировать последовательность манипуляций робота, записанных для одного случая, на ситуации произвольного расположения и ориентации объекта в рабочей области робота. Для распознавания заданных точек и захвата объекта в окрестностях указанных точек используется робот-манипулятор, оснащенный рабочим органом в виде комбинации камеры глубины и антропоморфной захватной системы.

Для решения задачи поиска ключевых точек на изображении объекта мы опирались на работы [1], [2], в которых использовалась свёрточная нейронная сеть. С помощью нейронной сети можно построить отображение из пространства цветных изображений в пространство дескрипторов таким образом, чтобы для двух пикселей из двух разных изображений объекта, соответствующих одной точке на поверхности объекта, расстояние между их дескрипторами было минимально. В результате такого обучения нейронная сеть формирует представление о форме объекта по любому его изображению. В нашей работе используется робота-манипулятор для автоматического создания обучающей выборки для тренировки такой нейронной сети. Также нами предлагается новый автоматический способ захвата объекта в заданных пользователем точках, применимый к захватным устройствам как с большим количеством степеней свободы типа антропоморфной кисти, использованной в нашей установке, так и к более простым. В наших экспериментах пользователь определяет две ключевые точки на изображении объекта, затем в режиме свободного движения робот перемещается так, чтобы захватить объект в определенном месте с определенной ориентацией и конфигурацией захватного устройства. Процедура обучения может быть легко выполнена с использованием графического интерфейса пользователя без программирования. Использование антропоморфного захвата

предполагает осуществление хватания и манипуляции с объектами таким же образом, как это делает человек (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Различные конфигурации антропоморфного захвата при манипуляциях с объектом

Новизна этих демонстраций заключается в том, что наш метод способен обрабатывать большие вариации внутри категории объектов без какой-либо конкретной настройки под частный тип объектов.

В этой статье мы представляем подход к манипуляциям объектами с использованием семантических ключевых точек, что обеспечивает возможность оперировать сразу классами объектов различного размера и деформации. Более того, это позволяет формировать действия по захвату и перемещениям объекта в интерактивном режиме взаимодействия оператора-человека и робота без необходимости программирования задач.

1. P. R. Florence, L. Manuelli, and R. Tedrake, “Dense Object Nets: Learning Dense Visual Object Descriptors By and For Robotic Manipulation,” *arXiv*, pp. 1–12, 2018.
2. M. Klingensmith, I. Dryanovski, S. Srinivasa, and J. Xiao, “Chisel: Real Time Large Scale 3D Reconstruction Onboard a Mobile Device using Spatially Hashed Signed Distance Fields,” *Robotics: Science and Systems*, vol. 4, 2015.

V.Ya. Vilisov, B.Yu. Murashkin, A.I. Kulikov
**SIMULATION MODEL OF TWO-ROBOT COOPERATION
IN COMMON OPERATING ENVIRONMENT**

*University of Technology, Korolyov, Moscow Region, Russia
vvib@yandex.ru*

The article considers a simulation modelling problem related to the chess game process occurring between two three-tier manipulator robots. The objective of the game construction lies in developing the procedure of effective control of the autonomous manipulator robots located in a common operating environment. The simulation model is a preliminary stage of building a natural complex that would provide cooperation of several manipulator robots within a common operating environment. The main focus of the work is the construction of models and robotic complexes that would allow obtaining necessary research and development skills related to the robot cooperation in groups and their coordinated actions to solve the problems that require participation of several robots and/or heterogeneous "robot-human" groups.

The important subset of such problems is comprised of the operations that are executed by several robots or in robot-human groups. They are also called "collaborative robots" [1]. The main requirement set for such robot-robot groups or robot-human groups is taking into account other group members or coordination of their engagement. Thus, in various assembly operations, robots must adhere to a certain sequence of actions. Therefore, the chess game between two manipulator robots may become a useful model for developing the robot operation algorithms, their sequence of actions etc. Moreover, using the framework of the model, it is also possible to master various types of grips and/or to optimize the control system used for grabbing different objects etc. [2].

Currently, there are several implementation types of mechatronic devices [3, 4] that move chess pieces on the board and choose the move. Industrial robots are also used when moving the chess pieces in a robot-human game or in other games like Go [3]. However, the work is focused on the chess game between two manipulator robots. This problem is a part of a wider research on a robot-robot and robot-human cooperation as well as the robot training.

In order to simulate the chess game between two manipulator robots, we have developed a program that implements and demonstrates the process as a sequence of 3D stages. The program has been developed in C# using *Unity*, a cross-platform environment for the computer game

development [5]. The program provides accumulation and output of measurable data per each simulated game. In particular, it is possible to measure the length of the grip trajectory as well as the time required for each move. These indicators can be used to optimize the movement of manipulators, for example in relation to the operating speed and/or power consumption.

The chess context allows working over structure and combination of algorithmic and program elements, their cooperation as well as optimizing the parameters.

The developed module totality of the simulation model showed its functionality, making it possible to develop it further in the direction of the simulation & nature research complex.

1. A.S. Yushchenko, K.V. Ermishin. Collaborative Mobile Robots - a New Stage of Robotics // Works of International Scientific and Technological Conference "Extreme Robotics". Saint Petersburg: AP4Print LLP. 2016. p. 480. pp. 455-459.
2. Arm Dynamics. URL: <https://www.armdynamics.com/>
3. V.Ye. Pavlovsky, A.V. Podoprosvetov, V.S. Smolin, I.A. Orlov. ManGo Manipulator with Intelligent Technologies // Intellectual Systems and Technologies: Modern Condition and Prospects. Collection of Scientific Papers of IV International Summer Seminar School on Artificial Intelligence (Saint Petersburg: June 30 - July 30, 2017). Saint Petersburg: Politeknika-Servis. 2017. p. 224. pp. 128-137.
4. ChessBot - wooden chess-playing robot. URL: <https://youtu.be/tmG-FJrXAj8>
5. Unity, a cross-platform environment for the computer game development. URL: <https://unity.com>

В.Я. Вилисов, Б.Ю. Мурашкин, А.И. Куликов
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ
РОБОТОВ В ОБЩЕЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СРЕДЕ

Технологический университет, Московская обл., г. Королев
vvib@yandex.ru

В статье рассматривается задача имитационного моделирования процесса игры двух трехзвенных манипуляторов в шахматы друг с другом. Цель построения модели заключается в отработке процедуры эффективного управления автономными манипуляторами в едином операционном пространстве. Имитационная модель является предварительным этапом создания натурального комплекса, обеспечивающего взаимодействие группы манипуляторов в общем операционном пространстве. Работа направлена на создание моделей и робототехнических комплексов, которые позволили бы получить навыки разработки и исследования взаимодействия роботов в группах и скоординированного решения ими задач, требующих участия нескольких роботов и/или гетерогенных групп роботов и людей.

Важное подмножество таких задач составляют операции, выполняемые группой роботов или совместно с человеком. Это так называемые коллаборативные роботы [1]. Важным требованием в таких группах роботов, или в человеко-машинных группах, является учет других членов группы или координация их совместной работы. Во всевозможных сборочных производствах роботам важно соблюсти определенную последовательность действий. И шахматная партия двух роботов-манипуляторов может послужить удобной моделью для отработки алгоритмов функционирования роботов, последовательности их действий и т.п. Кроме того, в рамках такой модели могут быть отработаны различные варианты захватов, система управления усилием захвата для разных предметов и др. [2].

В настоящее время существует ряд реализаций мехатронных устройств [3, 4], обеспечивающих перемещение фигур на шахматной доске и выбор хода роботом. Кроме того, применяют и промышленных роботов для перемещения фигур в шахматной игре с человеком или в других видах игр, например, в игре Го [3]. Однако, в данной работе рассматривается ситуация игры между собой двух роботов-манипуляторов, в контексте шахматной игры. Эта задача рассматривается как элемент широкого круга исследований взаимодействия роботов в группах, с человеком, а также обучения роботов человеком.

Для моделирования партии шахматной игры двух роботов-манипуляторов между собой была разработана программа, реализующая и отображающая этот процесс в виде

последовательности 3D сцен. Программа разработана на языке C# с помощью межплатформенной среды разработки компьютерных игр Unity[5]. Программа позволяет накапливать и выводить данные, которые могут быть измерены в результате моделирования партии игры. В частности, в выполненных экспериментах измерению доступны протяженность пути и время выполнения каждого из ходов. Эти показатели могут быть использованы для оптимизации движения манипуляторов, например, по скорости выполнения операций и/или энергозатратам.

Шахматный контекст позволяет отработать структуру и состав алгоритмических и программных элементов, их взаимодействие и оптимизировать параметры.

Разработанная совокупность модулей имитационной модели показала свою функциональность, что дает основание для ее развития в направлении создания имитационно-натурного исследовательского комплекса.

1. Ющенко А.С., Ермишин К.В. Коллаборативные мобильные роботы – новый этап развития робототехники // Труды Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». СПб: ООО «АП4Принт». 2016. 480 с. С. 455-459.
2. Arm Dynamics. URL: <https://www.armdynamics.com/>
3. Павловский В.Е., Подопросветов А.В., Смолин В.С., Орлов И.А. Манипулятор МанГо с интеллектуальными технологиями // Интеллектуальные системы и технологии: современное состояние и перспективы. Сборник научных трудов IV Международной летней школы-семинара по искусственному интеллекту (Санкт-Петербург, 30 июня – 3 июля 2017 г.). СПб.: Политехника-сервис. 2017. 224 с. С. 128-137.
4. ChessBot - wooden chess-playing robot. URL: <https://youtu.be/tmGFJrXAj8>
5. Межплатформенная среда разработки компьютерных игр «Unity». URL: <https://unity.com>

E. V. Umnikov
**FEATURES OF HUMAN-MACHINE INTERACTION WITH
INTELLECTUAL ROBOTICS CONTROL SYSTEMS
USING A VIRTUAL TRAINING SPACE**

*Inter-regional public institution "Institute of Engineering Physics",
Serpukhov, Russia
rtk@iifmail.ru*

Robotic systems (RTS) include the latest advances in mechanics, electronics, computer science and many other areas of knowledge that are necessary to know both operators and RTS developers. Training of professional personnel, selection of the most motivated young people for further training in more in-depth aspects of robotics may require a long cycle of training, most fully implemented within the framework of the concept of continuing education. [1]

Due to the complexity of the system, sensory redundancy and diversity of applications, RTS represent a variety of interrelated options for the interaction of robotics and humans. At the same time, a person can act as a simple user – operator of a single RTS, and as a Manager of a group of communicating and self-organizing RTS having elements of artificial intelligence in control systems.

The need to consider many interrelated factors in the evaluation processes of the functioning of the RTS, the complexity and high cost of modern RTS creates a number of problems in the "classical" scheme of development, testing and implementation into production of new models of RTS. One of the fundamental problems is the inevitable increase in the complexity of software and hardware of RTS control systems and the associated progressive increase in the volume of testing options and combinations of RTS States requiring assessment for efficiency and safety. The mass use of advanced neural network solutions for the intellectualization of RTS brings its share of tasks related to the training of neural networks and expert systems of elements of "intelligent" control systems (ICS), evaluation of the quality of training, the stability of the obtained solutions under uncertainty.

As part of the research "Virtual training space", performed by the IPI "IEP", developed the concept and layout of hardware - software complex virtualization advanced testing of human - machine robotic systems "Virtual test site RTS". This system implements the methods and algorithms of simulation modeling of RTS application, includes a set of tools that allow to simulate, visualize and evaluate the potential results of the use of multiple RTS in the conditions specified by the simulation scenario and the effectiveness of the "operators – server VTS - robots" link [2].

Further development of such modeling systems will allow to implement the concept of full transfer of robotic "inconvenient" processes in a virtual environment, in order to reduce the real negative effects in the search and selection of technical and technological solutions.

1. Umnikov E.V., Tsarkov A.N., Grachev V.A. Educational aspects of the use of simulation tools for intelligent control systems "virtual polygon" // Proceedings of the VIII all-Russian scientific and practical conference "Modern continuous education and innovative development». 2018. С. 133-137.
2. Umnikov E.V., Grachev V.A., Murashov A.G. The concept of a virtual multi platform for the robotic systems simulation test - materials of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference "Perspective Systems and Management Problems"; South Federal University. - Rostov-on-Don: Publishing house of the Southern Federal University, Т. 2. - 2016.

Е.В. Умников

**ОСОБЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ
СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКОЙ С
ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

*Межрегиональное общественное учреждение
«Институт инженерной физики», г. Серпухов
rtk@ifmail.ru*

Робототехнические системы (РТС) включают в себя самые современные достижения механики, электроники, информатики и многих других областей знаний, которые необходимо знать как операторам, так и разработчикам РТС. Подготовка профессиональных кадров, отбор наиболее мотивированной молодежи к дальнейшему обучению все более углубленным аспектам робототехники может потребовать длительного цикла обучения, наиболее полно реализуемого в рамках концепции непрерывного образования. [1]

В силу системной сложности, сенсорной избыточности и многоплановости применений, РТС представляют множество взаимосвязанных вариантов взаимодействия робототехники и человека. При этом человек может выступать как в роли простого пользователя – оператора единичной РТС, так и управляющим группировкой сообщающихся и самоорганизующихся РТС, имеющими элементы искусственного интеллекта в системах управления.

Необходимость учитывать множество взаимосвязанных факторов при оценке процессов функционирования РТС, сложность и высокая

стоимость современных РТС, порождает ряд проблем в «классической» схеме разработки, тестирования и внедрения в производство новых образцов РТС. Одной из принципиальных проблем является неизбежный рост сложности программно-аппаратного обеспечения систем управления РТС и связанный с этим прогрессирующий рост объема тестирования вариантов действий и комбинаций состояний РТС требующих оценки на эффективность и безопасность. Массовое использование перспективных нейросетевых решений для интеллектуализации РТС вносит свою долю задач, связанных с обучением нейросетей и экспертных систем элементов «интеллектуальных» систем управления (ИСУ), оценкой качества обучения, стабильности функционирования полученных решений в условиях неопределенности.

В рамках НИР «Виртуальный полигон», выполняемой МОУ «ИИФ», разрабатывается концепция и макет программно-аппаратного комплекса виртуализации опережающих испытаний человеко-машинных робототехнических систем «Виртуальный полигон РТС». Данная система реализует методы и алгоритмы имитационного моделирования применения РТС, включает в себя комплекс средств, позволяющих промоделировать, визуализировать и оценить потенциальные результаты использования множественных РТС в условиях заданных сценарием моделирования и эффективность связки «операторы – сервер ВП - роботы» [2].

Дальнейшее развитие подобных систем моделирования позволит реализовать концепцию полного переноса роботизированных «неудобных» процессов в виртуальную среду, с целью снижения реальных негативных эффектов в процессе поиска и подбора технических и технологических решений.

1. Умников Е.В., Царьков А.Н., Грачев В.А. Образовательные аспекты применения средств имитационного моделирования интеллектуальных систем управления «виртуальный полигон» // Сборник трудов участников VIII Всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование и инновационное развитие». 2018. С. 133-137.
2. Умников Е.В., Грачев В.А., Мурашов А.Г. Концепция многоцелевого виртуального робототехнического полигона - материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, Т. 2. – 2016.

K.V. Gorbatov, A.K. Rugakov, T.IU. Mamaeva
HI-PRECISION RADAR SENSOR FROM “SILICON RADAR”

“EFO” LTD, Saint-Petersburg, kvg@efo.ru
JSC “Vostok”, Saint-Petersburg, akr@vostok-24.ru, tm@vostok-24.ru

Radar-based sensor “Evalkit SiRad Simple 120” has sub-millimeter resolution and due this capable to discover small-size obstacles, identify objects and leaving organisms by breathing and heartbeat cycles. In contrast to laser-based sensors it is capable to work in dusty and smoky environments and invisible to the eye.

It is built on the basis of the transmitter TRX_120_001 by “Silicon Radar” company, which is functional in ISM band 122-123 GHz and outside it as well. Using FMCW modulation span 5-7 GHz, sensor provides resolution 2-3 cm by FFT. When phase information is used its resolution capability will be around tenths of microns.

Patch antennas already built-in into transmitter with radiation pattern about 45 degrees. So there is no need to develop a complex RF part. Using cheep plastic lens beam can be focused up to 2-5 degrees and working range will expands up to 40 meters respectively.

K.B. Горбатов, А.К. Рыжаков, Т.Ю. Мамаева
ВЫСОКОТОЧНЫЙ РАДАРНЫЙ СЕНСОР КОМПАНИИ
«SILICON RADAR»

ООО «ЭФО» Санкт-Петербург, kvg@efo.ru
АО «Восток» Санкт-Петербург, akr@vostok-24.ru, tm@vostok-24.ru

Радарный сенсор “Evalkit SiRad Simple 120” обладает суб-миллиметровой разрешающей способностью, что позволяет обнаруживать малоразмерные препятствия, идентифицировать объекты и живые организмы по циклам дыхания и сердцебиения. В отличие от лазерных датчиков, он способен работать в запыленных средах и незаметен.

Его основу составляет приемопередатчик TRX_120_001 компании “Silicon Radar”, который работоспособен как в диапазоне ISM 122-123 ГГц, так и за его пределами. При ЛЧМ модуляции излучаемого сигнала сенсор обеспечивает точность 2-3 см по отсчетам БПФ. С использованием же фазовой информации его разрешающая способность составляет уже порядка десятков микрон.

Встроенные в приемопередатчик антенны обеспечивают ДН около 45 градусов и избавляют от необходимости проектирования сложной СВЧ части. С помощью дешевой пластиковой линзы луч можно фокусировать до 2-5 градусов, что позволяет получить дальность работы до 40 метров.

S.A. Matyunin
FIBER-OPTIC SENSORS FOR ANTHROPOMORPHIC ROBOT GRIPPERS

Samara national research University, Samara, Russia
S.A.Matyunin@yandex.ru

Currently, technologically advanced countries are conducting intensive research in the development of new types of sensors, especially for robotics. Of particular interest are fiber-optic sensors (FOS) with a closed optical channel due to their insensitivity to electromagnetic interference, operability from cryogenic (minus 200 °C) to high temperatures (+400 °C) and principally explosion-proof design [1-6].

The Samara University developed the provisions of the theory, and the report describes the features of the implementation of the tactile force and the angular position FOS for the phalanges of the anthropomorphic robot grips, based on two physical principles: on the macro-bends of the optical fiber and the Faraday effect [6-10].

Experimental studies of experimental samples (with the participation of R&D company "Android technology", Moscow) tactile forces and angular position FOS for the gripper phalanges have been conducted and the following characteristics have been achieved [10-11]:

- controlled tactile force not less than 0 ... 10 N;
- controlled angular positions of phalanges 0 ... 60 degrees;
- basic control error is not worse than 1%;
- the size of the contact spot of tactile force FOS is not less than 3x3 mm;
- resolution of the electronic transceiver is not less than 10 bits;
- operating temperature from minus 100 to plus 100 ° C;
- relative air humidity up to 100%;
- atmospheric air pressure from $133 \cdot 10^{-5}$ to $202 \cdot 10^3$ Pa;
- supply voltage of an electronic transceiver, 5 V.

1. Koyama, Yu. Multi-channel measurement for hetero-core optical fiber sensor by using CMOS camera [Текст] / Yuya Koyama, Michiko Nishiyama, Kazuhiro Watanabe // Proc. of SPIE, Fifth Asia-Pacific Optical Sensors Conference, 2015. – Vol. 9655. – № 965525-4.
2. Silva, A.S. Design and characterization of a wearable macro bending fiber optic sensor for human joint angle determination [Текст] / Ana S. Silva, André Catarino, Miguel V. Correia, Orlando Frazão // SPIE, Optical Engineering, 2013. – 52(12), № 126106.

3. Martellucci, S. Optical Sensors and Microsystems [Текст] / S. Martellucci, A.N. Chester, A.G. Mignan // Boston: Kluwer academic publishers, 2002. -318 pp.
4. Garmash, V.B. Opportunities, tasks and prospects of fiber-optic measuring systems in modern instrument-making [Text] / V.B. Garmash, F.A. Egorov, L.N. Kolomiets, A.P. Neugodnikov, V.I. Pospelov // Special edition "Foton-Express", 2005. - №6. - p. 128 - 140.
5. Khlybov, A.V. Fiber-optic polarimetric sensors of physical quantities. [Text]: dissertation for the degree of Ph.D.: 04/01/03 / AV Khlybov. - SPb., Petersburg, 2004. - 215 p.
6. Tatmyshevsky K.V., Makarova N.Yu., Pavlov D.D. Focused and distributed (tactile) sensors based on the phenomenon of mechanoluminescence for instruments for measuring and measuring pulse pressure [Text]: R & D report, State contract No. 3 of November 11, 2009 / State Educational Institution of Higher Professional Education "Vladimir State University", 07.10.2011. - Inv. No. 01200965317.
7. Matyunin, S.A., Babaev, O.G. Fiber-optic Sensor of Tactile Force for Anthropomorphic Robot Grips. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 302(1),012040
8. Babaev, O.G., Matyunin, S.A., Paragin, V.D. Linearization of Positional Response Curve of a Fiber-optic Displacement Sensor. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 302(1),012051
9. Matyunin, S.A., Stepanov, M.V., Babaev, O.G. Simulation of the Characteristics of a Magneto-Optical Displacement Transducer. Measurement Techniques 59(8), c. 832-837 DOI:10.1007/s11018-016-1053-7
10. Matyunin, S.A. Research on Characteristics of Fiber Optic Sensors for Anthropomorphous Robots. Procedia Engineering 176, c. 128-136 DOI:10.1016/j.proeng.2017.02.280

С.А. Матюнин
**ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ЗАХВАТОВ
АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ**

*Самарский национальный исследовательский университет, г. Самара
S.A.Matyunin@yandex.ru*

В настоящее время в технологически развитых странах ведутся интенсивные исследования в области разработки новых типов датчиков, особенно для робототехники. Особый интерес представляют волоконно-оптические датчики (ВОД) с закрытым оптическим каналом как нечувствительные к электромагнитным наводкам, работающие от криогенных (минус 200 °С) до высоких температур (+400 °С) и в принципиально взрывобезопасном исполнении [1-6].

В Самарском университете разработаны положения теории, а в докладе рассмотрены особенности реализации ВОД тактильного усилия и углового положения фаланг захватов антропоморфного робота, основанных на двух физических принципах: на макроизгибах оптического волокна и на эффекте Фарадея [6-10].

Проведены экспериментальные исследования опытных образцов (при участии ОА «Андроидная техника» г. Москва) ВОД тактильного усилия и углового положения фаланг захватов и достигнуты следующие характеристики [10-11]:

- контролируемое тактильное усилие не менее 0...10 Н;
- контролируемые угловые положения фаланг 0...60 град.;
- основная погрешность контроля не хуже 1 %;
- размеры пятна контакта тактильного усилия не менее 3х3 мм;
- разрешающая способность электронного трансивера не менее 10 бит;
- температура эксплуатации от минус 100 до плюс 100 °С;
- относительная влажность воздуха до 100 %;
- атмосферное давление воздуха от $133 \cdot 10^{-5}$ до $202 \cdot 103$ Па;
- напряжение питания электронного трансивера, 5 В.

1. Koyama, Yu. Multi-channel measurement for hetero-core optical fiber sensor by using CMOS camera [Текст] / Yuya Koyama, Michiko Nishiyama, Kazuhiro Watanabe // Proc. of SPIE, Fifth Asia-Pacific Optical Sensors Conference, 2015. – Vol. 9655. – № 965525-4.
2. Silva, A.S. Design and characterization of a wearable macrobending fiber optic sensor for human joint angle determination [Текст] / Ana S. Silva, André Catarino, Miguel V. Correia, Orlando Frazão // SPIE, Optical Engineering, 2013. – 52(12), № 126106.
3. Martellucci, S. Optical Sensors and Microsystems [Текст] / S. Martellucci, A.N. Chester, A.G. Mignan // Boston: Kluwer academic publishers, 2002. -318 pp.

4. Гармаш, В.Б. Возможности, задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении [Текст] / В.Б. Гармаш, Ф.А. Егоров, Л.Н. Коломиец, А.П. Неугодников, В.И. Поспелов // Спецвыпуск «Фотон-Экспресс», 2005. – №6. – С. 128 – 140.
5. Хлыбов, А.В. Волоконно-оптические поляриметрические датчики физических величин. [Текст]: диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н.: 01.04.03 / А.В. Хлыбов. – СПб., Петербург, 2004. – 215 с.
6. Сосредоточенные и распределенные (тактильные) датчики на основе явления механо-люминесценции для приборов регистрации и измерения импульсных давлений [Текст]: отчет о НИОКР, Государственный контракт № 3 от 11 ноября 2009 / К.В. Татмышевский, Н.Ю. Макарова, Д.Д. Павлов. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования " Владимирский государственный университет", 07.10.2011. – Инв. № 01200965317.
7. Matyunin, S.A., Babaev, O.G. Fiber-optic Sensor of Tactile Force for Anthropomorphic Robot Grips. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 302(1),012040
8. Babaev, O.G., Matyunin, S.A., Parinin, V.D. Linearization of Positional Response Curve of a Fiber-optic Displacement Sensor. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 302(1),012051
9. Matyunin, S.A., Stepanov, M.V., Babaev, O.G. Simulation of the Characteristics of a Magneto-Optical Displacement Transducer. Measurement Techniques 59(8), с. 832-837 DOI: 10.1007/s11018-016-1053-7
10. Matyunin, S.A. Research on Characteristics of Fiber Optic Sensors for Anthropomorphic Robots. Procedia Engineering 176, с. 128-136 DOI:10.1016/j.proeng.2017.02.280

D.A. Pavlyukov, E.S. Kvas, S.V. Solonyj
**ORGANIZING SECURE ACCESS TO THE INDUSTRIAL
AUTOMATION SYSTEM AND IOT SYSTEMS**

*Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
Den2691@list.ru*

This article describes the types of information attacks on management automation systems and IoT systems. The main methods and objectives for information security in the field of industrial control systems and automation are considered. The classification and definition of types of attacks are given, the negative consequences of their implementation are indicated. In the course of the analytical work, they hit the real cases of the realization of attacks, indicating the losses that the organization suffered.

Keywords: information security; Database; protective equipment; information security methods; synthesis of information security systems.

Д.А. Павлюков, Е.С. Квас, С.В. Соленый
**ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ДОСТУПА К СИСТЕМЕ
ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИОТ СИСТЕМ**

*ГУАП, Санкт-Петербург
Den2691@list.ru*

В данной статье рассмотрены виды информационных атак на системы автоматизации управления и IoT систем. Рассмотрены основные методы и цели по информационной безопасности в области промышленных систем управления и автоматизации. Дана классификация и определения видам атак, указаны негативные последствия их реализации. В ходе аналитической работы, были выявлены реальные случаи реализации атак с указанием потерь, которые понесла организация.

Ключевые слова: безопасность информации; базы данных; защитные средства; методы защиты информации; синтез систем защиты информации.

M.A. Chumichev¹, D.A. Gribkov², V.E. Pavlovsky², I.A. Orlov²
A MODEL OF THE PNEUMATIC ARTIFICIAL MUSCLE

¹Lomonosov MSU, Moscow, chym4@mail.ru

²Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, vlpavl@mail.ru,
 legovas@gmail.com, i.orlov@keldysh.ru

This paper gives a mathematical description of the pneumatic artificial muscle. The fundamental of such a mechanism is conversion the energy of expanding gas to elastic elements tension and subsequently to the mechanical work purposing to move objects. In this article we will consider the work of a single pneumatic muscle set in motion by a compressor and research its movements, as well as various objects to the muscle both under the effect of gravity without it.

Consider an artificial pneumatic muscle, in which the left end is fixed. We assume that the force of gravity acting on the shell is negligible. The muscle is a thin-walled cylinder on which a thread of length b is wound, n is the number of turns of the thread. The initial length and radius of the muscle are x_0 and y_0 , respectively. θ - the angle between the wound thread and the axis Ox . By virtue of circular symmetry, we will consider the plane problem of moving a rectangle.

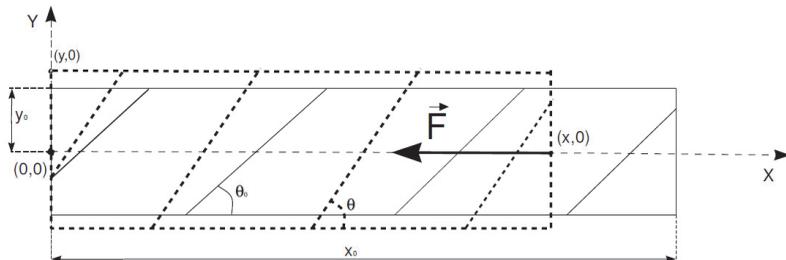


Figure 1 – Artificial muscle

In addition to the assumption that the muscle walls are negligibly thin, we assume that the muscle remains cylindrical when contracted (in fact, the experiment shows that except for the ends on which the braid is fixed, the muscle remains cylindrical).

The hose from the compressor is brought to the left end of the muscle. The diameter of the hose (inlet) — d_0 . Characteristics of the compressor is consumption — Q [m^3/s].

$$Q = \pi d_0^2 W$$

W [m/s] — air velocity at compressor outlet.

Connection of geometrical parameters of the system:

$$\begin{cases} x = b \cos \theta, \\ 2\pi n y = b \sin \theta, \\ 0 < \theta < \frac{\pi}{2}, \\ V = \pi y^2 x. \end{cases}$$

V — muscle volume.

Ultimately, muscle contraction is described by a system of two kinematic equations, one of which describes muscle contraction, and the second - the change in its diameter.

$$\left\{ \begin{array}{l} x^3(t) - b^2 x(t) + \frac{b^2}{\pi y_0^2} \left(1 - \left(\frac{x_0}{b}\right)^2\right) (Qt + \pi y_0^2 x_0) = 0, \\ y(t) = \frac{y_0}{1 - \left(\frac{x_0}{b}\right)^2} \sqrt{1 - \left(\frac{x(t)}{b}\right)^2}, \\ \frac{b}{\sqrt{3}} < x(t) \leq x_0, \\ y_0 \leq y(t) < y_0 b \frac{\sqrt{\frac{2}{3}}}{\sqrt{b^2 - x_0^2}}. \end{array} \right.$$

In the conducted research a rigorous mathematical model was constructed, and kinematic and dynamic equations were obtained, which was the main goal of the work. This was not done in the review articles reviewed. On the basis of the obtained solutions, a method for determining muscle parameters for solving specific problems has been proposed. It can be argued that the main tasks considered in the work were performed.

The research was made with the financial support of RFBR within scientific projects № 18-31-20068 u № 18-08-01441.

1. Chou C.-P., Hannaford B., "Measurement and modeling of McKibben pneumatic artificial muscles" , IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, n. 1, february 1996.
2. Hertz E.I., Kreinin G.V., "Design of pneumatic mechanisms" , 1975
3. Frank Daerden, Dirk Lefeber, "Pneumatic Artificial Muscles: actuators for robotics and automation" , 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics.
4. Terenziano Raparelli, Francesco Durante and Pierluigi Beomonte Zobel, "Numerical Modeling and Experimental Validation of a Pneumatic Muscle Actuator" , 2016
5. Festo, "PneumoMuscle MAS — Specification" , 2019
6. H.F. Shulte, "The characteristics of the McKibben artificial muscle" , Proc. Application of external power in prosthetics and orthotics,

National Academy of Science-National Research Council, Washington D.C., 1961

7. Jackson Wirekoh, Yong-Lae Park, "Design of flat pneumatic artificial muscles" , 2017

М.А. Чумичев¹, Д.А. Грибков², В.Е. Павловский², И.А. Орлов²
МОДЕЛЬ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ИСКУССТВЕННОЙ МЫШЦЫ

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, chum4@mail.ru
²ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, vlpavl@mail.ru,
legovas@gmail.com, i.orlov@keldysh.ru

В данной работе описывается поведение пневматической искусственной мышцы, принцип действия которой основан на преобразовании внутренней энергии сжатого газа в энергию напряжения упругих элементов, а впоследствии в работу по перемещению объектов. Рассматривается работа одиночной пневматической мышцы, приводимой в движение компрессором и исследовать ее собственные движения, а также движения прикрепленных к ней различных грузов при наличии поля сил тяжести и его отсутствии.

Мышца представляет собой тонкостенный цилиндр, на который намотана нить длины b , n — число витков нити. Первоначальные длина и радиус мышцы равны x_0 и y_0 соответственно. θ — угол между намотанной нитью и осью Ox . В силу круговой симметрии, будем рассматривать плоскую задачу движения прямоугольника.

Помимо предположения о том, что стенки мышцы пренебрежимо тонкие, будем считать, что при сокращении мышца остается цилиндрической формы (в самом деле, при эксперименте видно, что за исключением концов, на которых закреплена оплетка, мышца остается цилиндрической).

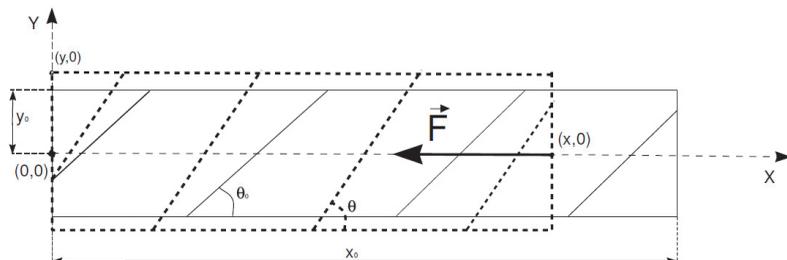


Рисунок 1 – Искусственная мышца

К левому концу мышцы подведен шланг от компрессора. Диаметр шланга (входного отверстия) — d_0 . Характеристикой компрессора является расход — Q [m^3/s].

$$Q = \pi d_0^2 W$$

W [m/s] — скорость воздуха на выходе из компрессора.

Запишем связь геометрических параметров системы:

$$\begin{cases} x = b \cos \theta, \\ 2\pi n y = b \sin \theta, \\ 0 < \theta < \frac{\pi}{2}, \\ V = \pi y^2 x. \end{cases}$$

V — объем мышцы.

В конечном итоге сокращение мышцы описывается системой из двух кинематических уравнений, одно из которых описывает сокращение мышцы, а второе — изменение ее диаметра.

$$\left\{ \begin{array}{l} x^3(t) - b^2 x(t) + \frac{b^2}{\pi y_0^2} \left(1 - \left(\frac{x_0}{b}\right)^2\right) (Qt + \pi y_0^2 x_0) = 0, \\ y(t) = \frac{y_0}{1 - \left(\frac{x_0}{b}\right)^2} \sqrt{1 - \left(\frac{x(t)}{b}\right)^2}, \\ \frac{b}{\sqrt{3}} < x(t) \leq x_0, \\ y_0 \leq y(t) < y_0 b \frac{\sqrt{\frac{2}{3}}}{\sqrt{b^2 - x_0^2}}. \end{array} \right.$$

В проведенных исследованиях была построена строгая математическая модель, а также получены кинематические и динамические уравнения, что и являлось основной целью работы, так как это не было проделано в рассмотренных обзорных статьях. На основе полученных решений предложен метод определения параметров мышцы для решения конкретных задач. В связи с этим можно утверждать, что основные задачи, рассматриваемые в работе, были выполнены.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-31-20068 и № 18-08-01441.

1. Chou C.-P., Hannaford B., "Measurement and modeling of McKibben pneumatic artificial muscles", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, n. 1, february 1996.

2. Герц Е.И., Крейнин Г.В., "Расчет пневмоприводов" , 1975
3. Frank Daerden, Dirk Lefeber, "Pneumatic Artificial Muscles: actuators for robotics and automation" , 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics.
4. Terenziano Raparelli, Francesco Durante and Pierluigi Beomonte Zobel, "Numerical Modeling and Experimental Validation of a Pneumatic Muscle Actuator" , 2016
5. Festo, "Пневмомускул MAS — техническая документация" , 2019
6. H.F. Shulte, "The characteristics of the McKibben artificial muscle" , Proc. Application of external power in prosthetics and orthotics, National Academy of Science-National Research Council, Washington D.C., 1961
7. Jackson Wirekoh, Yong-Lae Park, "Design of flat pneumatic artificial muscles" , 2017

V.I. Shiryaev, D.P. Klepach, D.O. Malyugina, A.A. Romanova
ABOUT GUARANTEED ESTIMATION OF THE LINEAR
DYNAMICAL SYSTEM STATE VECTOR IN THE
CONDITIONS OF UNKNOWN INPUT

FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk, Russia
shiriaevvi@susu.ru, klepachd@mail.ru

The problem of estimation of the linear dynamical system state vector in the conditions of incomplete data is considered. There are two different approaches to the estimation of the linear dynamical system state vector: the statistically distributed, e.g. Kalman filter for a statistical application and the guaranteed estimation. Kalman filter is based on the assumption, that statistical noise and other inaccuracies, affecting the system, are known. However, under real circumstances there may not be statistical input, what makes Kalman filter implementation invalid and the estimation results inaccurate, and the true state can remain beyond the confidence sets. In that case, the estimation task is considered in the guaranteed or minimax approach. Minimax Filter involves implementation of Minkowski sum of sets operations, linear transformation and intersection of sets. However, construction of information structures is a complex computational problem for large dimensionality systems, and then an approximation is used instead of information sets precise construction.

The equations of motion and measurements are considered in the linear approximation.

$$x_{k+1} = Ax_k + \Gamma w_k, \quad (1)$$

$$y_{k+1} = Gx_{k+1} + H v_{k+1}, k = 0, 1, \dots, N - 1, \quad (2)$$

where x_k is the state vector, w_k is the process noise y_k is the measurement vector, v_k is the measurement noise, A, Γ, G, H are known matrices of corresponding dimensions.

It is known that the initial state x_0 of the system, disturbances w_k , measurement errors v_k can take any values from a priori given sets respectively (3)

$$x_0 \in X_0, w_k \in W, v_k \in V, \quad (3)$$

the convex polyhedra in corresponding dimensions.

It is known [1-2], the result of the guaranteed estimation of the state vector x_{k+1} of the system (1)-(3) is information sets

$$\bar{X}_{k+1} = X_{k+1/k} \cap X[y_{k+1}]. \quad (4)$$

As was mentioned above this approach is a quite sophisticated computational task, therefore it is relevant to consider an alternative representation of information sets.

As noted [2], the implementation of set operations in (4) in real time is computationally complex. Therefore, it is proposed in the paper to construct an estimate $\bar{X}_{a_{k+1}}$ of the information set \bar{X}_{k+1} in the form of a convex

polyhedron, obtained by approximating from above the "exact", but implicitly defined by the system of linear inequalities of the information set obtained from the system (1)-(3)

$$\bar{X}_{a_{k+1}} = \{x_{k+1} \in R^m | A_{k+1}x \leq b_{k+1}\} \quad (5)$$

Furthermore approximate information structure includes the valid and correct information structure.

$$\bar{X}_{a_{k+1}} \supseteq \bar{X}_{k+1}$$

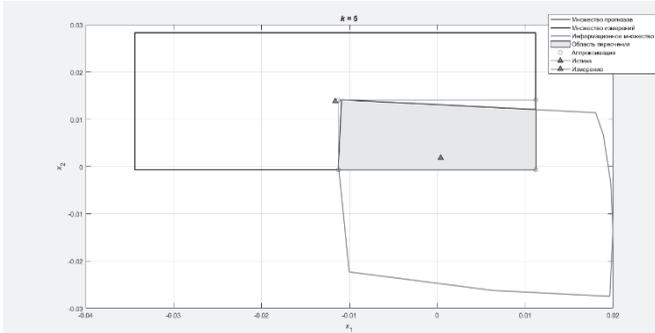


Figure 1 – Information structure approximation. Comparison of the guaranteed estimation with the stochastically one

Therefore, we deduced the algorithms of estimation of the linear dynamical system state vector by the means of linear programming methods. One of the possible ways of computation process acceleration is its neural network realization. An example of the computation of the estimation algorithm and a comparison with the Kalman filter (Figure 1) are given.

1. Kats I.Ya., Kurzanskiy A.B. [Minimax Multi-Step Filtering in Statistically Indeterminate Situations]. Automation and Remote Control, 1978, no. 11, pp. 79–87. (in Russ.)
2. Shiryayev V.I. [Control Algorithms of Dynamical Systems under Uncertainty]. Mechatronics, 2001, no. 8, pp. 2–5. (in Russ.)

В.И. Ширяев, Д.П. Клепач, Д.О. Малюгина, А.А. Романова
О ГАРАНТИРОВАННОМ ОЦЕНИВАНИИ ВЕКТОРА
СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск
shiriaevvi@susu.ru, klepachd@mail.ru,
malyugina.97@mail.ru, dikayavishnya@mail.ru

Рассматривается задача оценивания вектора состояния динамической системы в условиях неопределенности. Существует два различных подхода к оцениванию вектора состояния линейных динамической систем: вероятностный, например, фильтр Калмана и гарантированный. Фильтр Калмана основан на предположении, что статистические характеристики возмущений и помех, действующих на систему, известны. Однако в реальных условиях статистическая информация может отсутствовать, поэтому применение фильтра Калмана может быть не обоснованным и оценки могут быть неточные, а истинное состояние может находиться за пределами доверительных множеств. Тогда задачу оценивания рассматривают в гарантирующей или минимаксной постановке. Минимаксный фильтр включает в себя выполнение операций суммы множеств в смысле Миньковского, линейного преобразования и пересечение множеств. Однако построение информационных множеств является вычислительно сложной задачей для систем больших размерностей, тогда вместо точного построения информационных множеств используют приближенное значение, то есть аппроксимацию.

Рассматриваются уравнения движения и измерений в линейном приближении

$$x_{k+1} = Ax_k + \Gamma w_k, \quad (1)$$

$$y_{k+1} = Gx_{k+1} + Hv_{k+1}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (2)$$

где $x_k \in R^n$, $w_k \in R^{n_w}$, $y_{k+1} \in R^m$, $v_{k+1} \in R^{m_v}$ – векторы состояния системы, возмущений, измерений, ошибок измерений соответственно, A, Γ, G, H – известные матрицы соответствующих размерностей.

О начальном состоянии x_0 , возмущениях w_k , ошибках измерения v_k известно, что они могут принимать в каждый k -й момент времени любое значение из множеств

$$x_0 \in X_0, w_k \in W, v_{k+1} \in V, \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (3)$$

которые заданы в виде выпуклых многогранников.

Известно[1], что результатом гарантированного оценивания вектора состояния x_{k+1} систем (1)-(3) является информационное множество

$$\bar{X}_{k+1} = X_{k+1/k} \cap X[y_{k+1}], \quad (4)$$

где $X_{k+1/k} = A\bar{X}_{k+1} + \Gamma W$, – множество прогнозов вектора состояния, $X[y_{k+1}] = \{x \in R^n | Gx + Hv = y_{k+1}, v \in V\}$ – множество состояний, совместимых с измерением y_{k+1} .

Как отмечалось [2], реализация операций над множествами в (4) в реальном времени является вычислительно сложной. Поэтому в работе предлагается строить оценку $\bar{X}_{a_{k+1}}$ информационного множества \bar{X}_{k+1} в виде выпуклого многогранника, полученного путем аппроксимации сверху «точного», но заданного неявно системой линейных неравенств информационного множества, полученного из системы (1)-(3)

$$\bar{X}_{a_{k+1}} = \{x_{k+1} \in R^m | A_{k+1}x \leq b_{k+1}\}, \quad (5)$$

причем верно $\bar{X}_{a_{k+1}} \supseteq \bar{X}_{k+1}$.

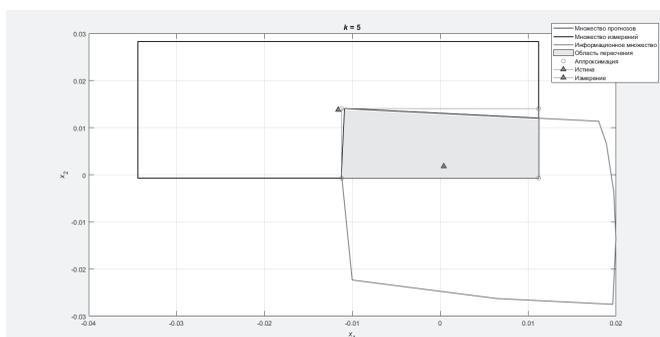


Рисунок 1 – Аппроксимация информационного множества. Сравнение гарантированного оценивания со стохастическим

Получены алгоритмы оценивания состояния динамической системы с помощью методов линейного программирования. Одним из возможных методов ускорения работы алгоритма является их нейросетевая реализация. Приводится пример расчета алгоритма оценивания и сравнение с фильтром Калмана (рисунок 1).

1. Кац, И.Я. Минимаксная многошаговая фильтрация в статистически неопределенных ситуациях / И.Я. Кац, А.Б. Куржанский // Автоматика и телемеханика. – 1978. – № 11. – С. 79–87.
2. Ширяев, В.И. Алгоритмы управления динамическими системами в условиях неопределенности / В.И. Ширяев // Мехатроника. – 2001. – № 8. – С. 2–5.

A.V. Safonov, O.A. Shmakov
**APPROACHES TO THE DESIGN OF CONTROL SYSTEMS
FOR ACTIVE EXOSKELETON**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint Petersburg
a.safonov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

Analysis of modern theoretical developments in the field of active exoskeleton control algorithms show that to design such a control system and to “learn” it, it is necessary to use a significant number of different sensors: strain gauges for measuring the applied forces in mechanical gears, linear motion sensors, and inertial navigation modules with MEMS – accelerometers, and gyroscopes; at the same time, a multi-loop motor control law is necessary, which includes, at a minimum, a linear position loop, a speed loop, and a torque-moment loop.

It is advisable to divide the computing system that implements the exoskeleton control algorithm into two parts – the control system of the top and executive levels. The top-level control code is executed on the microcomputer under the control of the real-time operating system and provides control of the target variables (position of the links and the force developed), as well as a learning strategy. The executive level is implemented by programs on microcontrollers and regulates the rotation of the motors and receives information from the sensors.

The communication channel between the top and executive control levels should provide the transfer of 164 bytes of information with a frequency of 1 kHz, therefore, its throughput should be more than 1 Mbit/s. Also, such a channel should have significant noise immunity. It is desirable that its connection to the microcomputer does not require additional converters. From the point of view of transmission speed and noise immunity, as well as for economic reasons, the Ethernet interface is most suitable for implementing such a channel.

The executive level of the exoskeleton control system is proposed to be implemented on the basis of eight computational modules with microcontrollers – four motor control devices and four system modules. The motor control modules process the sensory information directly involved in the motor control loop. System modules are connected via Ethernet to the microcomputer, sending data from other sensors to it, and also provide communication with the motor modules, sending to them the signals from the top level and receiving from them some of the sensory information.

Communication between the system and motor modules is based on the CAN interface. Based on the analysis of the CAN work sequences and the interfaces of communication with the sensors, it is required to organize multitasking algorithms execution on all modules. Such an architecture is the most optimal from the point of view of minimizing information propagation delays and maximizing the synchronism of the work of all nodes of the control system.

А.В. Сафонов, О.А. Шмаков
**ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
АКТИВНЫМИ ЭКЗОСКЕЛЕТАМИ**

*СПбПУ, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
a.safonov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

Анализ современных теоретических разработок в области алгоритмов управления активными экзоскелетами показывает, что для построения такой системы управления и ее «обучения» необходимо использование значительного количества различных датчиков: тензOMETрических систем для измерения развиваемого усилия в механических передачах, датчиков линейного перемещения звеньев, модулей инерциальной навигации с МЭМС-акселерометрами и гироскопами; при этом необходим многоконтурный закон управления приводом, включающий в себя, как минимум, контур линейного положения, контур скорости и силомоментный контур.

Вычислительную систему, осуществляющую алгоритм управления экзоскелетом, целесообразно разделить на две части – систему управления верхнего и исполнительного уровней. Код верхнего уровня управления выполняется на микрокомпьютере под управлением операционной системы реального времени и обеспечивает управление целевыми переменными (положением звеньев и развиваемым усилием), а также стратегию обучения. Исполнительный уровень реализуется программами на микроконтроллерах и осуществляет регулирование вращения приводов и сбор информации с датчиков.

Канал связи между верхним и исполнительным уровнями управления должен обеспечивать пересылку 164 байт информации с частотой в 1 кГц, следовательно, его пропускная способность должна составлять более 1 Мбит/с. Также такой канал должен обладать значительной помехоустойчивостью. При этом желательно, чтобы его подключение к микрокомпьютеру не требовало дополнительных

преобразователей. С точки зрения скорости передачи и помехозащищенности, а также по экономическим соображениям, для реализации такого канала наиболее подходит интерфейс Ethernet.

Исполнительный уровень системы управления экзоскелетом предлагается реализовывать на основе восьми вычислительных модулей с микроконтроллерами – четыре устройства управления приводами и четыре системных модуля. Модули управления приводами обрабатывают сенсорную информацию, задействованную непосредственно в контуре управления двигателями. Системные модули подключаются по Ethernet к микрокомпьютеру, пересылая на него данные с остальных датчиков, а также обеспечивают связь с приводными модулями, пересылая на них задающие сигналы от верхнего уровня и собирая с них часть сенсорной информации. Связь между системными и приводными модулями осуществляется на основе интерфейса CAN. Исходя из анализа циклограмм работы CAN и интерфейсов связи с датчиками, на всех модулях требуется организовать многозадачное исполнение алгоритмов. Такая архитектура является наиболее оптимальной с точки зрения минимизации задержек распространения информации и максимизации синхронности работы всех узлов системы управления.

A.V. Vasiliev, I.V. Shardyko
**ANALYSIS OF POTENTIAL CRITICAL SITUATIONS AND
METHODS OF THEIR DETECTION, PARRY AND PREVENTION
FOR LIGHTWEIGHT MOBILE ROBOTS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
andrey@rtc.ru, i.shardyko@rtc.ru*

Mobile robots represent an extensive trend in robotics and are widely used in the world. The defining features of mobile robots are the presence of two main subsystems: a mobile platform and a manipulation complex. The use of mobile robots is largely associated with non-deterministic environmental conditions, which naturally increases the probability of mission failure. This is especially true for relatively small lightweight mobile robots (LMR). This report gives a brief description of modern mobile robots; analyzes the tasks they solve; identifies factors that could lead to the failure of the robot or the failure of the mission (risk factors).

Risk factors may have an objective (environmental factors and inertial forces) or abnormal nature (failure of aggregates). In the present study, only the first ones are considered. The report based on the analysis of tasks and risk factors identifies the main types of critical situations (CS) that LMR may encounter. An analytical review was conducted on the detection and response to CS, based on which little-studied areas that deserve further research are identified.

Consideration of factors that can adversely affect the operation of mobile robots should begin with an analysis of tasks that can be divided into two levels: 1) operational, (general tasks in terms of the robot purpose); 2) tactical (elementary (simple) tasks of moving and manipulation, which constitute the work scenarios, that together represent the operational level of the tasks of the robot).

Operational tasks (assignments) may include:

- actions in conditions of chemical, biological and radiation contamination, as well as in conditions of increased background radiation at nuclear facilities (Chemical, Biological, Radiological and Nuclear - CBRN);
- actions in conditions of man-made and natural disasters, potentially dangerous situations at city facilities and industrial infrastructure (Search & Rescue, Maintenance & Repair, Disposal of Explosive Objects - EOD);
- ground-based planetary research.

From the point of view of the LMR control system, in whose interests the present study is being carried out, the solution of most of the elementary tasks considered in the report is the responsibility of its mobile platform. In turn, the manipulation complex can both complicate the execution of tasks related to the movement of the robot and also assist the mobile platform (for

example, by moving the robot center of mass in a given direction). In the context of the proposed study manipulation tasks are not considered in detail. However, the movement and the current configuration of the manipulation complex, of course, must be taken into account, because they can play a significant role in causing the CS as well as in parrying it.

Figure 1 presents the results of the analysis of risk factors for CS.

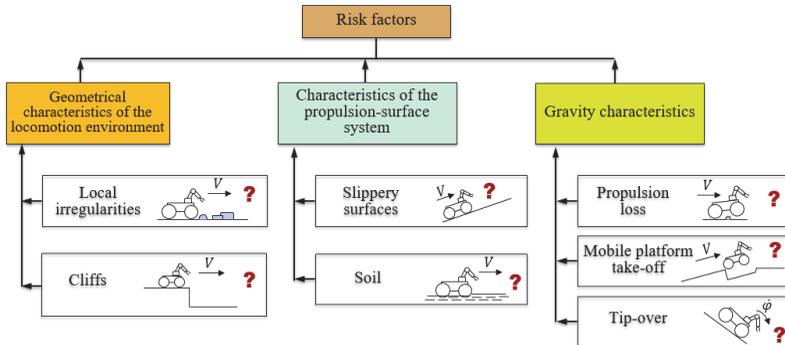


Figure 1 - Risk Factors for Critical Situations

CSs are processes occurring with a mobile robot, leading either to the termination of the robot operation or to deviations from the normal course of the mission, requiring additional corrective actions from the operator, including non-trivial ones. The ultimate goal of this study is to build a mobile robot control system capable of detecting and responding to CS while being as robust to emerging CSs as possible.

CS, which may occur as a result of actions that are caused by the following factors: partial loss of wheel/track traction (towing; longitudinal and lateral sliding and, as a result, deviation from the trajectory); complete loss of wheel/track traction (detachment of one or more traction units from the surface); burying into the ground; tip-over; complete mobile platform detachment from the surface (uncontrolled take-off); falling off a cliff.

For CS detection, as well as for counteraction and prevention, it is necessary to track the metrics that reflect the distance of the current state of the robot from the boundary of the CS. To calculate the metrics, it is necessary to know the relevant mathematical models of the robot and models of interaction of the robot with the environment, in particular - models of dynamics.

Modeling the dynamics of LMR in the general case includes modeling of the following interactions (subsystems of the general model):

1. surface – propulsion («soil/surface-wheel» model);
2. propulsion – drive («drive and transmission» model, taking into account elasticities and nonlinearities);

3. propulsion – mobile platform («suspension and MCG» model, where MCG are mechanisms for changing chassis geometry);
4. mobile platform – manipulator («platform-manipulator» model of their dynamic interaction, taking into account the geometry, inertia, elasticity of the manipulator);
5. manipulator («manipulator» model taking into account its internal characteristics);
6. manipulator – tool/payload («manipulator-TP» model);
7. tool/payload – objects of the environment («TP-environment» model);
8. mobile robot – objects of the environment («robot body-environment»).

It is important to determine which of the interactions are necessary and sufficient to take into account for detecting and preventing various CSs, as well as the minimum amount of sensor information required.

A publications review on methods for detecting and parrying CSs showed that while some types of CSs were studied in sufficient detail, others received less attention. Thus, a significant number of metrics and algorithms have been proposed for estimating the probability of tip-over occurrence and countering it. However, there is currently no complete analysis of the proposed metrics and algorithms in terms of their reliability, speed and suitability (optimality) for robots of a particular configuration. No studies of the effects of speed and changes in speed of a mobile platform on resistance to rollover and sliding on the surface, as well as studies of locomotion on elastic surfaces and overcoming elastic obstacles were found. No publications were found that considered such situations as free fall and uncontrolled take-off.

The solution to these open questions is the subject of future research.

А.В. Васильев, И.В. Шардыко
**АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ
ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ
ЛЁГКОГО КЛАССА, МЕТОДОВ ИХ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ,
ПАРИРОВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
andrey@rtc.ru, i.shardyko@rtc.ru*

Мобильные роботы представляют собой обширное направление в робототехнике и получили широкое применение в современном мире. Определяющими чертами мобильных роботов, является наличие двух основных подсистем: мобильной платформы и манипуляционного комплекса. Применение мобильных роботов в значительной мере связано с недетерминированными условиями внешней среды, что естественным образом повышает вероятность провала миссии. Особенно это актуально для относительно небольших мобильных роботов лёгкого класса (МР ЛК). В настоящей работе дана краткая характеристика современных мобильных роботов; проведён анализ решаемых ими задач; выявлены факторы, способные привести к отказу робота или провалу миссии (факторы риска).

Факторы риска могут иметь объективную (факторы внешней среды и силы инерции) либо нештатную природу (отказы агрегатов). В настоящем исследовании рассматриваются только первые из них. В докладе на основе анализа задач и факторов риска определяются основные виды критических ситуаций (КС), с которыми могут столкнуться МР ЛК. Выполнен аналитический обзор по вопросам детектирования и парирования КС, на основании которого определены малоизученные области, заслуживающие дальнейшего исследования.

Рассмотрение факторов, способных негативно повлиять на функционирование мобильных роботов, следует начинать с анализа задач, которые целесообразно разделить на два уровня: 1) оперативный, (общие задачи с точки зрения назначения робота); 2) тактический (элементарные задачи перемещения и манипулирования, из которых складываются сценарии работы, в совокупности составляющие оперативный уровень задач рассматриваемого робота).

Оперативные задачи (задачи назначения) укрупнённо могут быть представлены в следующем виде:

– действия в условиях химического, биологического и радиационного заражения, а также в условиях повышенного

радиационного фона на объектах атомной промышленности (Chemical, Biological, Radiological and Nuclear - CBRN);

– действия в условиях техногенных и природных катастроф, потенциально опасных ситуациях на объектах городской и промышленной инфраструктуры (Search & Rescue, Industrial Maintenance & Repair, Explosive Ordnance Disposal - EOD);

– напланетные исследования (On-Planet Research).

С точки зрения системы управления МР ЛК, в интересах которой проводится настоящее исследование, решение большинства элементарных задач, рассматриваемых в докладе, лежит в сфере ответственности его мобильной платформы. В свою очередь, манипуляционный комплекс может как усложнить выполнение задач, связанных с передвижением робота, так и оказать помощь мобильной платформе (например, путём перемещения в заданном направлении центра масс робота). В общем смысле задачи манипулирования, в контексте предлагаемого исследования, не рассматриваются. Однако, движение и текущая конфигурация манипуляционного комплекса, безусловно, должны учитываться, т.к. могут играть существенную роль как с точки зрения возникновения КС, так и с точки зрения её парирования.

На рисунке 1 представлены результаты анализа факторов риска возникновения КС.

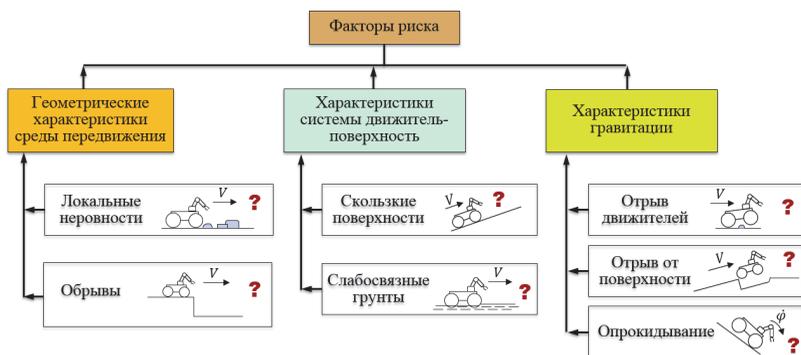


Рисунок 1 – Факторы риска возникновения критических ситуаций

КС представляют собой процессы, происходящие с мобильным роботом, ведущие либо к прекращению функционирования комплекса, либо к отклонениям от нормального течения миссии, требующим дополнительных корректирующих действий от оператора, в том числе,

нетривиальных. Конечной целью настоящего исследования является построение системы управления мобильным роботом, способной детектировать КС и, по возможности, парировать их, а также быть устойчивой к возникающим КС.

КС, которые могут возникнуть в результате действия выявленных факторов риска являются: частичная потеря сцепления движителей с поверхностью (буксование; продольное и поперечное скольжение и, как следствие, уход (увод) от траектории); полная потеря сцепления движителей (отрыв от поверхности одного или нескольких движителей); зарывание в грунт; опрокидывание; полный отрыв от поверхности мобильной платформы (неконтролируемый взлёт); падение с обрыва.

Для детектирования, равно как и для парирования и предотвращения КС, необходимо отслеживание метрик, отражающих удалённость текущего состояния робота от состояния на границе КС. Для расчёта метрик необходимо знание соответствующих математических моделей робота и моделей взаимодействия робота с окружающей средой, в частности – моделей динамики.

Моделирование динамики МР ЛК мобильного робота лёгкого класса в общем случае включает моделирование следующих взаимодействий (подсистем общей модели):

1. опорная поверхность – движитель (модель «грунт-колесо»);
2. движитель – привод (модель «привод и трансмиссия» с учётом упругостей и нелинейностей);
3. движитель – мобильная платформа (модель «подвеска и МИГ», где МИГ – механизмы изменения геометрии шасси)
4. мобильная платформа – манипулятор (модель «платформа-манипулятор» - динамическое взаимодействие с учётом геометрии, инерции, упругости манипулятора);
5. манипулятор (модель «манипулятора» с учётом его внутренних характеристик);
6. манипулятор – инструмент/полезный груз («манипулятор-ИПГ»);
7. инструмент/полезный груз – объекты внешней среды («ИПГ-среда»);
8. мобильный робот – объекты внешней среды («корпус-среда»).

Важно определить, какие из взаимодействий необходимо и достаточно учитывать для детектирования и предотвращения различных КС, а также какой минимальный набор сенсорной информации требуется для этого.

Обзор публикаций по методам детектирования и парирования КС показал, что в то время как одни виды КС изучены достаточно подробно, другие получили меньшее внимание. Так, для оценки вероятности возникновения и парирования опрокидывания предложено значительное количество метрик и алгоритмов. Однако, в настоящее время отсутствует сколько-нибудь полный анализ предложенных метрик и алгоритмов с точки зрения их надёжности, быстродействия и пригодности (оптимальности) для роботов той или иной конфигурации. Не обнаружено исследований влияния скорости и изменения скорости мобильной платформы на устойчивость к опрокидыванию и скольжению по поверхности, а также исследований движения по упругим поверхностям и преодоления упругих препятствий. Не было найдено публикаций, рассматривающих такие ситуации, как свободное падение и неконтролируемый взлёт.

Решение перечисленных открытых вопросов составляет предмет будущих исследований.

V.M. Kopylov, I.V. Shardyko, A.A. Truts
**DEVELOPMENT OF A MODULAR MECHATRONIC UNIT
WITH ENHANCED RELIABILITY OF TORQUE
MEASUREMENT**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
v.kopylov@rtc.ru*

Among the variety of tendencies in mechatronic units design nowadays there exist the use of modularity and the enhancement of torque control strategies. The principle of modularity is well-known in technical science, and it is employed in robotics on a number of levels, from large subsystems (robot arms) to joint parts. It is widespread that a manipulator contains only limited number of joint types (sizes) [1] or only one joint type at all [2]. Generally speaking, modularity is connected with two strategies of its employment: interchangeability of the components and extensibility of the system. In the latter case, modularity brings the opportunity to create a row of joints that differ only in composition, e.g. with or without electromagnetic brake or link-side position sensor, which leads to enhanced versatility and average decrease of expenses.

Considering torque control, there are currently three main strategies to measure the joint output torque, i.e. sensorless method, micro- and macromasurement. Sensorless torque measurement and control [3] is based on the knowledge of motor current as well as relevant models linking output torque with motor current, primarily, friction models. Micromasurement assumes measurement of microstrains with such transducers as, e.g. strain gauges [4]. Conversely, macromeasurements are related with introduction of elastic elements into the joint structure and measurement of their deflection with position sensors, such as resolvers or optical encoders [5]. The elastic element contributes to the unit reliability, behaving as a filter and not requiring elements with relatively low reliability (strain gauges).

In the course of this work a joint with elastic element based on a modular concept is designed. The joint structure is shown in Figure 1 with drive assembly 1, brake 2 and wave gear 3 as basic elements and elastic element (torsion spring) 4, interface for unlimited rotation 5 and link-side position sensor as optional ones.

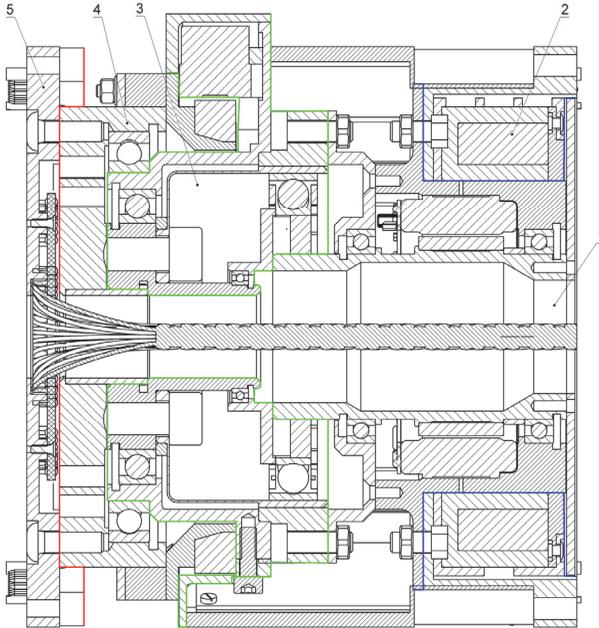


Figure 1 – Joint structure (slice)

Special attention is paid to design of the torsion spring due to its important role within the mechatronic unit. The spring is constrained by its inner and outer diameters while it should have required strength and elasticity. Strength analysis is performed in the Solidworks.

1. T. Debus, S. Dougherty. Overview and Performance of the Front-End Robotics Enabling Near-Term Demonstration (FREND) Robotic Arm. 2009.
2. S. Jaekel et al. Design and Operational Elements of the Robotic Subsystem for the e.deorbit Debris Removal Mission. 2018
3. A. De Luca, R. Mattone. Sensorless Robot Collision Detection and Hybrid Force/Motion Control. 2005
4. G. Hirzinger et al. On a New Generation of Torque Controlled Light-Weight Robots. 2001
5. G. Pratt, M. Williamson. Series Elastic Acturators. 1995

В.М. Копылов, И.В. Шардыко, А.А. Трутс
**РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОГО УЗЛА МОДУЛЬНОЙ
КОНСТРУКЦИИ С ПОВЫШЕННОЙ НАДЁЖНОСТЬЮ
ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
v.kopylov@rtc.ru*

При создании современных мехатронных модулей для применения в робототехнике среди множества тенденций существуют такие, как развитие модульного принципа и совершенствование систем моментного управления. Модульный принцип хорошо известен в технике, и в роботах он применяется сразу на нескольких уровнях, от крупных подсистем (руки-манипуляторы) до элементов шарниров манипуляторов. Часто манипулятор включает ограниченное количество типоразмеров шарниров [1] либо вообще только один типоразмер [2]. В целом, идея модульности связана с двумя стратегиями применения: взаимозаменяемостью узлов и расширяемостью системы. В последнем случае применение модульности открывает возможности для создания семейства шарниров, различающихся комплектацией, например, с (без) электромагнитным тормозом, либо с (без) датчиком положения выходного вала, что приводит к повышенной гибкости разработки и снижению стоимости разработок в среднем.

В части управления моментом в настоящее время существует три основных технологии измерения момента на выходном валу шарнира манипулятора, которые условно можно определить как косвенное измерение момента, микро- и макроизмерение. Косвенное измерение момента (sensorless torque measurement) [3] основывается на знании тока двигателя, а также необходимых моделей, связывающих ток двигателя с моментом шарнира, в первую очередь, модели трения. Микроизмерение момента предполагает измерение микродеформаций, например, такими инструментальными средствами, как тензорезисторы [4]. Напротив, макроизмерение связано с введением в шарниры существенного упругих элементов и измерением их деформации датчиками положения, такими как вращающиеся трансформаторы или оптические датчики положения [5]. Упругий механический элемент способствует повышению надёжности модуля, выполняя роль фильтра и не требуя элементов со сравнительно низкой надёжностью (тензорезисторы).

В ходе настоящей работы разработан шарнир с механически упругим элементом на основе модульного принципа, где в число обязательных элементов входят приводной агрегат 1, тормоз 2, волновой редуктор 3, в то время как упругий элемент 4, кабельный

переход бесконечного вращения 5 и датчик положения выходного вала являются опциональными. Конструкция шарнира в максимальной компоновке показана на рисунке 1 в разрезе.

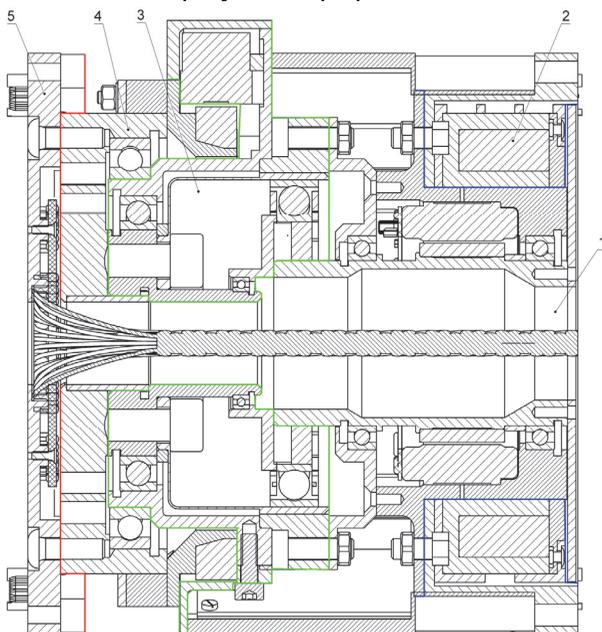


Рисунок 1 – Конструкция шарнира в разрезе

Особое внимание уделено упругому элементу в связи с его важной ролью в составе мехатронного модуля. Размеры упругого элемента ограничены внутренним и внешним диаметром, при этом он должен обладать необходимой прочностью и целевой упругостью. Расчёт прочности элемента проведён в пакете Solidworks.

1. T. Debus, S. Dougherty. Overview and Performance of the Front-End Robotics Enabling Near-Term Demonstration (FREND) Robotic Arm. 2009.
2. S. Jaekel и др. Design and Operational Elements of the Robotic Subsystem for the e.deorbit Debris Removal Mission. 2018
3. A. De Luca, R. Mattone. Sensorless Robot Collision Detection and Hybrid Force/Motion Control. 2005
4. G. Hirzinger и др. On a New Generation of Torque Controlled Light-Weight Robots. 2001

FOR NOTES / ДЛЯ ЗАМЕТОК

Сборник тезисов
30-й Международной научно-технической конференции

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

13-15 июня 2019 года, Санкт-Петербург

Abstracts

of the 30th International Scientific and Technological Conference

EXTREME ROBOTICS

June 13-15, 2019, Saint-Petersburg, Russia

Подписано в печать 03.06.2019

Формат А5. Печать – цифровая.

Тираж 450 экз.

Отпечатано в

ООО "Издательско-полиграфический комплекс "Гангут"
с оригинал-макета заказчика