



ER-2021



# СБОРНИК ТЕЗИСОВ

32<sup>nd</sup> Международной научно-технической конференции  
"ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА"

# ABSTRACTS

of the 32<sup>nd</sup> International Scientific and Technological Conference  
"EXTREME ROBOTICS"



ER.RTC.RU

Выпускается с 2013 года

# РОБОТОТЕХНИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Включен в базу Russian Science Citation Index (RSCI)  
на платформе Web of Science

Подписной индекс в каталоге «Роспечать» - **59896**

## Уважаемые коллеги!

Хорошая новость для наших авторов

Журнал «Робототехника и техническая кибернетика» включен в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science. Цель RSCI - создать базу научных статей из лучших и авторитетных российских журналов на платформе Web of Science. Научные журналы, принятые в эту базу по результатам экспертизы, а также статьи российских учёных, опубликованные в журналах, индексируемых в Web of Science Core Collection и Scopus, и составляют ядро РИНЦ.

Данные об издании публикуются в реферативном журнале Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН) (серия «Машиностроение», выпуск «Робототехника»). Журнал включен 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, утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 29.05.2017 г.

Коды специальностей: 05.07.02, 05.07.07, 05.07.10, 05.13.11, 05.13.18, 05.13.19.

Приглашаем к сотрудничеству

ISSN 2310-5305 (Print)  
ISSN 2312-6612 (Online)

## Издатель



Журнал издается 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,  
zheleznyakov@rtc.ru, www.rusrobotics.ru

# **СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

32-й Международной научно-технической конференции

## **ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

2-4 июня 2021 года, Санкт-Петербург

# **ABSTRACTS**

of the 32<sup>nd</sup> International Scientific and Technological Conference

## **EXTREME ROBOTICS**

June 2-4, 2021, Saint Petersburg, Russia



[er.rtc.ru](http://er.rtc.ru)

УДК 004.896:007.5

ББК 32.813

Э41

Сборник тезисов 32<sup>-й</sup> Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА». – Санкт-Петербург: ООО «РА ФОРТУНА», 2021. – 200 с.

Сборник тезисов отражает круг актуальных проблем и задач в сфере робототехнических систем и средств безопасности, представленных на 32<sup>-й</sup> Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА».

Тезисы опубликованы в авторской редакции.

Дизайн Ирины Купцовой, kuptzova@rtc.ru

Abstracts of the 32<sup>nd</sup> International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS». – Saint Petersburg: Company «RA FORTUNA», 2021. – 200 p.

Collection of abstracts highlights an array of challenging issues and tasks in the sphere of robotic systems and safety facilities discussed at the 32<sup>nd</sup> International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS».

Abstracts are published with author's edition.

Design by Irina Kuptzova, kuptzova@rtc.ru

ISBN 978-5-6045926-2-5

©ЦНИИ робототехники и  
технической кибернетики, 2021



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

**А.В. Лопота**

Director-Chief Designer RTC,  
Doctor of Technical Sciences

**Alexander Lopota**

***Уважаемые коллеги!***

*Я рад приветствовать участников 32<sup>-й</sup> 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 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!*

---

***Dear Colleagues!***

*I am glad to welcome participants of the 32<sup>nd</sup> 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 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!*

## 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

## 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

## **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 Saint Petersburg
- Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University

## **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



## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

---

Председатель:

**Попов Александр Владимирович**, к.т.н, заместитель  
директора по научной работе ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Заместитель председателя:

**Казанцев Виктор Борисович**, д.ф.-м.н., зав. кафедрой  
нейротехнологий Института биологии и медицины, ННГУ  
им. Н.И. Лобачевского; АНО ВО «Университет Иннополис»;  
БФУ им. И. Канта

Члены программного комитета:

**Андреев Виктор Павлович**, д.т.н., проф. кафедры «Сенсорные  
и управляющие системы» МГТУ «СТАНКИН»

**Алин Альбу-Шаффер**, д-р, проф., руководитель Института  
робототехники и мехатроники Германского Аэрокосмического  
Центра, Германия

**Битный-Шляхто Виктор Михайлович**, заместитель главного  
конструктора научно-технического отделения  
робототехнических систем, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Визильтер Юрий Валентинович**, д.ф.-м.н., профессор РАН,  
начальник подразделения ФГУП «ГосНИИАС»

**Даляев Игорь Юрьевич**, к.т.н., заместитель главного  
конструктора по робототехнике и роботостроению, ГНЦ РФ  
ЦНИИ РТК

**Игнатиади Евгений Константинович**, заместитель главного  
конструктора Научно-технического отделения информационно-  
управляющих систем и тренажеров, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Плегер Пауль**, д-р, проф. Бонн-Рейн-Зиг университета  
прикладных наук, Германия

**Половко Сергей Анатольевич**, к.т.н., научный руководитель  
научно-исследовательского центра «Компоненты  
робототехники и сенсорика», ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Пряничников Валентин Евгеньевич**, д.т.н., зав. базовой кафедрой МГТУ «СТАНКИН» при ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

**Ронжин Андрей Леонидович**, д.т.н., проф., директор СПб ФИЦ РАН

**Рудианов Николай Александрович**, к.т.н., начальник отдела ФГБУ 3 ЦНИИ Минобороны России

**Сайед Саркар**, д-р, проф., директор Исследовательского центра по науке и технологиям в медицине, Иран

**Смирнова Екатерина Юрьевна**, и.о. руководителя научно-исследовательского центра «Компоненты робототехники и сенсорики», ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Цариченко Сергей Георгиевич**, д.т.н., проф., НИУ МГСУ

**Шмаков Олег Александрович**, заместитель главного конструктора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Юн Жи Суп**, доктор, научный руководитель Корейского научно-исследовательского института атомной энергии KAERI, Корея

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

---

Председатель:

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

Члены организационного комитета:

**Анцев Георгий Владимирович**, к.т.н., генеральный директор - генеральный конструктор, АО «Моринформсистема-Агат»

**Воробьев Иван Семенович**, начальник ФГБУ, «Центральный научно-исследовательский испытательный институт инженерных войск имени Героя Советского Союза генерал-лейтенанта инженерных войск Д.М. Карбышева»

**Емельянов Сергей Геннадьевич**, д.т.н., профессор, ректор ЮЗГУ

**Желтов Сергей Юрьевич**, д.т.н., академик РАН, генеральный директор ФГУП «ГосНИИАС»

**Зосимчук Сергей Владимирович**, начальник НИИ ОСИС ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»

**Каляев Игорь Анатольевич**, д.т.н., академик РАН, председатель совета по приоритету научно-технологического развития РФ

**Каталинич Бранко**, доктор, президент Международной ассоциации DAAAM, Австрия

**Кудж Станислав Алексеевич**, д.т.н., ректор ФГБОУ ВО «Московский технологический университет»

**Лобин Михаил Александрович**, генеральный директор, первый вице-президент исполнительной дирекции Союза промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга

**Максимов Андрей Станиславович**, к.т.н., 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**, к.э.н., директор Департамента инноваций и перспективных исследований Минобрнауки России

**Осыко Михаил Владимирович**, член коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации

**Пешехонов Владимир Григорьевич**, д.т.н., академик РАН, генеральный директор ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

**Рудской Андрей Иванович**, академик РАН, ректор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

**Соколов Виктор Николаевич**, вице-адмирал, начальник ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»

**Туричин Глеб Андреевич**, д.т.н., проф., ректор СПбГМТУ

**Шнайдер Франк Юджин**, д-р, руководитель лаборатории робототехники Фраунгоферовского института связи

## ТЕХНИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ «КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

---

21

- Е.В. Власенков, Н.М. Хамидуллина*  
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ БОРТОВЫХ  
РАДИОИЗОТОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА  
ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЯЖЕЛОГО ЛУНОХОДА  
НА КОСМОНАВТОВ ПРИ РАБОТАХ  
НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ 21
- А.И. Быков, А.В. Артемьев*  
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТЯГОВОЙ ДИНАМИКИ  
И УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТОХОДА  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОЛЕСНЫХ ШАССИ 22
- А.В. Яскевич, В.М. Мирхайдаров, О.С. Андреев*  
МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ  
СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ НА МКС  
МАНИПУЛЯТОРОМ ERA 24
- П.П. Ананьев, А.В. Плотникова, А.С. Тимофеев,  
Р.В. Мещеряков, К.О. Беляков*  
К ВОПРОСУ О ТЕСТИРОВАНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО  
КОСМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТАМ 26
- М.И. Калинов, В.А. Родионов*  
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ  
КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО  
НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СУДОХОДСТВОМ ПО МАРШРУТУ  
СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ 29
- Е.Б. Коротков, О.В. Ширококов*  
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ОПЫТ  
ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 31
- Н.С. Слободзян, В.О. Гончаров, В.Д. Грагерт*  
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СКАЛЯРНОГО РАЗОМКНУТОГО  
УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ 32
- И.Д. Евсиков, Н.А. Филиппов, Г.Д. Демин, Н.А. Дюжеев*  
ПЕРСПЕКТИВЫ ВАКУУМНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ  
НА БАЗЕ АВТОЭМИССИОННЫХ НАНОСТРУКТУР  
ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ 33

*Н.А. Филиппов, П.Ю. Глаголев, Г.Д. Демин,  
И.Д. Евсиков, Н.А. Дюжнев*  
РОБОТИЗИРОВАННАЯ ПЕРЧАТКА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ  
МИНИАТЮРНЫХ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫХ СЕНСОРОВ  
ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ 35

*А.М. Бойко, Р.А. Гиргидов*  
КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМОВ  
ФОРМИРОВАНИЯ РОЯ АВТОНОМНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) В УСЛОВИЯХ  
ОТСУТСТВИЯ ГНСС И УСТОЙЧИВОЙ РАДИОСВЯЗИ 37

*А.А. Жуков, Е.И. Гребенюк, А.С. Александров, Н.А. Петелин*  
ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
ЭЛЕМЕНТОВ МОБИЛЬНЫХ МИКРОРОБОТОВ 39

*Ф.В. Васильев, А.А. Жуков, М.А. Коробков*  
ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГОСТИ МИНИАТЮРНОГО  
ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО АКТЮАТОРА  
ШАГАЮЩЕГО МИКРОРОБОТА 41

*И.Э. Новиков*  
СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ, АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ  
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА  
И РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ  
АВИАЦИОННОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ  
ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ 43

*И.Э. Новиков*  
УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ  
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ДОЗЫ ГАММА-  
ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ  
ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ АВИАЦИОННОГО РАДИАЦИОННОГО  
КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ 45

*Т.Ю. Мамаева, А.К. Рыжаков*  
НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ MICROCHIP  
ДЛЯ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ 47

---

**СИМПОЗИУМ «НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА» 49**

---

*А.А. Тачков*  
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НАЗЕМНЫХ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 49

- Д.С. Яковлев, А.А. Тачков*  
МОДУЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО  
КОМПЛЕКСА 51
- Н.А. Бузлов, А.А. Тачков*  
ПРИМЕНЕНИЕ СКАНИРУЮЩИХ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ АВТОНОМНЫМИ  
НАЗЕМНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 53
- С.Ю. Курочкин, А.А. Тачков*  
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ  
МОДЕЛИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
С УЧЕТОМ ПРИВОДНОГО УРОВНЯ 55
- А.В. Козов, А.А. Тачков*  
РЕАЛИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ  
МОДЕЛЬНОГО ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ 57
- С.М. Соколов, А.А. Богуславский, Н.Д. Беклемишев*  
ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ  
НАЗЕМНОГО РТК НА ОСНОВЕ ЗРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ 59
- К.С. Паньшин, И.В. Зайко*  
АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАССИ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ  
КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ 61
- И.А. Шипов*  
УНИФИЦИРОВАННАЯ МОНОБЛОЧНАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ  
СИСТЕМА НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 63
- А.Ю. Исхаков, Р.В. Мещеряков, А.О. Исхакова*  
МЕТОДЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА РТК 65
- К.Ю. Сахаров, В.А. Туркин, О.В. Михеев, А.В. Сухов*  
ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА  
В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
ИЗЛУЧЕНИЙ 66
- Д.В. Бордюгов, Е.С. Брискин, Н.Г. Шаронов*  
ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ДВУОПОРНОГО РОБОТА  
С ПОДПРУЖИНЕННОЙ МАССОЙ 69
- Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов*  
ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИНЕЙНОГО  
ПЕРСПЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ  
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА  
ОПЕРАТОРОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 70

<i>А.А. Галкин, П.В. Еркин, Л.Р. Боев, А.В. Тулуш</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАШЮТНО-ГРУЗОВОЙ ПЛАТФОРМОЙ НА БАЗЕ ИНЕРЦИАЛЬНОГО МЭМС-МОДУЛЯ	73
<i>В.В. Пузиков, Н.А. Соломкина</i> АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ БЕСПИЛОТНИКОВ ЗА СЧЕТ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ И НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ	76
<i>Г.Д. Демин, А.Г. Буздаков, К.А. Звездин, Н.А. Дюжеев</i> СПИН-ДИОДНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ НАЗЕМНЫХ РОБОТОВ	78
<i>В.Н. Ложкин</i> ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА НАСЕЛЕНИЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА	80
<i>М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, Д.Ю. Петров, О.М. Степанова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ	81
<i>М.А. Головин</i> МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ	83
<i>В.П. Андреев, В.Л. Ким, Ю.Е. Луцекин</i> РАЗРАБОТКА СУБМОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА	85
<i>А.Н. Афонин, А.А. Шамраев, Д.А. Веселов</i> ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕРВИСНОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАРАЛИЗОВАННЫХ ИНВАЛИДОВ	86
<i>Ю.С. Павлова, А.Ю. Алейников, Л.А. Камышиникова, С.А. Рачинский, Ю.Г. Худасова</i> КОЛЛАБОРАТИВНАЯ МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕАБИЛИТАЦИИ ВЕРХНИХ КОНЧЕЧНОСТЕЙ НЕТРАВМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗА	89
<i>А.А. Стрижакова, С.И. Стебляно, В.В. Усиков, Д.И. Ушаков</i> РОБОТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	90



- Ю.С. Павлова, О.Г. Худасова, Л.А. Камышинова, К.Х. Давлетчури*  
РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ  
СИМУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ 92
- Д.А. Иванов, А.К. Рыжаков*  
DC/DC-КОНВЕРТЕРЫ VICOR ДЛЯ РОБОТОТЕХНИКИ 95
- И.А. Марцинкевич, М.Т. Коротких*  
МИКРОДУГОВОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ  
МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ  
СТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ РОБОТОВ 95
- И.Б.Прямыцын, М.Т. Коротких*  
ИНТЕГРАЦИЯ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА В УСЛОВИЯХ  
ОПЫТНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА 97
- А.Н. Косенко, С.П. Кульгина, Д.С. Попов*  
СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТРЕХ СРЕД  
БАЗИРОВАНИЯ 99
- П.Ю. Васильева, Д.С. Попов, И.Р. Черемный, О.А. Шмаков*  
БОРТОВОЙ КОМПЛЕКС АУДИО-ВИДЕО СРЕДСТВ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ  
МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 100
- Д.Р. Аюпова, Д.С. Попов, И.Р. Черемный, О.А. Шмаков*  
ПУЛЬТЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ НАЗЕМНОГО  
БАЗИРОВАНИЯ 102
- А.С. Воронов, Д.М. Королев, Н.А. Китаев, О.А. Шмаков*  
ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
АВТОНОМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И  
КОМПЛЕКСОВ НА ИХ ОСНОВЕ 104
- В.М. Битный-Шляхто, Н.Н. Якубов*  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ УСТОЙЧИВЫХ  
КАНАЛОВ СВЯЗИ ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППЫ  
МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ 106
- Н.О. Копытов, В.М. Битный-Шляхто*  
ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ  
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИЙ ПОИСКА И ЛОКАЛИЗАЦИИ  
ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ 107
- Н.В. Малютин, В.С. Кисилёва, М.Д. Чижиков*  
УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРНЫХ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ 108

<i>А.В. Плотников, В.Е. Пряничников, М.Б. Ницанский</i> АЛГОРИТМЫ ГЕНЕРАЦИИ СИНЕРГИЙ ДЛЯ ЗАХВАТА ОБЪЕКТОВ СЕРВИСНЫМ РОБОТОМ	110
---	-----

---

**СИМПОЗИУМ «ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЦИФРОВЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ»** 115

---

<i>Е.А. Долматов, Д.О. Трубников, Д.С. Яговитов</i> МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	115
---	-----

<i>П.Н. Балахонов, В.И. Бегун</i> АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В ПАССИВНЫХ СИСТЕМАХ НАБЛЮДЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	117
---	-----

<i>Р.В. Абрамкин</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПОЛЕВЫХ ОБЪЕКТОВ СВЯЗИ	119
---	-----

<i>Н.Г. Топольский, В.Я. Вилисов</i> ПЛАНИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ПО ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ	121
--	-----

<i>В.Я. Вилисов, Г.А. Филяев</i> ТЕХНОЛОГИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ	123
---	-----

<i>А.А. Зеленский, Т.Х. Абдуллин, А.В. Аленко</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ S-ОБРАЗНОЙ КРИВОЙ РАЗГОНА/ТОРМОЖЕНИЯ ПРИ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	125
---	-----

<i>С.А. Матвеев, М.И. Надежин</i> УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА МОДЕЛЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	127
--	-----

- И.Д. Шабалин, В.В. Желонкин, И.Ю. Проказина, Е.С. Польшцев,  
А.А. Согомонянц, Е.С. Шандаров*  
ПЛАТФОРМА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
ЧЕЛОВЕКОПОДОБНОГО РОБОТА ДЛЯ ИГРЫ В ФУТБОЛ 129
- А.А. Постольный, Е. В. Савельева, Я.С. Никулин, А.С. Яцун*  
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ЭКЗОСКЕЛЕТОВ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ  
ПРЕДПРИЯТИЯХ 131
- О.Б. Шагниева, С.А. Булов*  
АЛГОРИТМ АДАПТАЦИИ К ИЗНОСУ ИНСТРУМЕНТА  
ПРИ МЕХАНООБРАБОТКЕ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННЫХ  
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 134
- А.В. Кожневникова, А.Д. Дмитриев, О.Л. Власова*  
НЕЙРОСЕТЕВАЯ ОБРАБОТКА ГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
ЗАТУХАЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ  
ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ БОЛЕВОГО СИНДРОМА 136
- И.И. Смоляков, Л.А. Станкевич*  
ГИБРИДНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОМОРФНОЙ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ 137
- Н.В. Малютин, А.С. Шалумов, М.Д. Чижиков, Ю.Е. Еретин*  
ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА  
ИЗДЕЛИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ 139
- А.Е. Архипов, И.С. Фомин*  
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРЕНОСА СТИЛЯ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ  
НЕЙРОСЕТЕВОГО ДЕТЕКТОРА 141
- И.С. Фомин, Н.С. Филатов, В.М. Власенко, Т.Т. Исаков*  
ОБЛАЧНОЕ СРЕДСТВО АННОТИРОВАНИЯ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ И ОБУЧЕНИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ  
СЕТЕЙ 143
- Л.А. Астапова, А.М. Корсаков, А.В. Бахшиев*  
РАСПОЗНАВАНИЕ ПАТТЕРНОВ СПАЙКОВОЙ  
НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ СО СТРУКТУРНОЙ  
АДАПТАЦИЕЙ СЕГМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОНА 145
- Я.С. Кондрашова, Э.А. Абросимов*  
АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ  
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ 147

<i>М.Н. Дормидонтова, Н.А. Скрипниченко</i> ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ НАЗЕМНЫХ РОБОТОВ ПРИ ПОИСКЕ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ	149
<i>В.М. Битный-Шляхто, И.А. Родин</i> СУПЕРВИЗОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППЫ РОБОТОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ	151
<i>Е.К. Игнатиади</i> КЛАССИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	152
<b>КРУГЛЫЙ СТОЛ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»</b>	<b>155</b>

---

<i>И.А. Галкин, П.В. Дробин</i> АПРОБАЦИЯ МЕТОДИК ЭКСПЛУАТАЦИИ И ГРУППОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНОСРЕДНЫХ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ХОДЕ МОРСКОГО ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	155
<i>А.И. Жуков</i> ОБ ОПЫТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАДВОДНЫХ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ АППАРАТОВ (АНГ) И ПЕРСПЕКТИВАХ МАССОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОРСКИХ РОБОТОВ	158
<i>А.И. Машошин, И.В. Пашкевич, В.А. Потапов, Н.А. Шалаев</i> ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ НА АВТОНОМНЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ	160
<i>Л.А. Мартынова, Т.А. Гриненкова</i> МЕТОД ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА АНПА	164
<i>Е.В. Глазунова, А.А. Деулин, А.В. Герасимов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖИТЕЛЕЙ В ИНТЕРЕСАХ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ УПРАВЛЯЕМОГО АППАРАТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА ПРОГРАММ «ЛОГОС»	165
<i>Н.А. Щур</i> ОПЫТ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ БИОМОРФНЫХ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ	166

<i>А.В. Зуев, А.Н. Жирабок, В.Ф. Филаретов, А.Е. Шумский, А.А. Проценко</i> МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМАХ	167
<i>В.Ф. Филаретов, Д.А. Юхимец, А.В. Зуев, А.Н. Жирабок</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ С АККОМОДАЦИЕЙ К ДЕФЕКТАМ В ИХ ДВИЖИТЕЛЯХ	169
<i>А.В. Прокопич, Е.Н. Павлова</i> АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДВОДНОГО ВИДЕНИЯ	171
<i>А.А. Иванов, О.А. Шмаков</i> РЕКОНФИГУРИРУЕМЫЙ ГИПЕРИЗБЫТОЧНЫЙ МОДУЛЬНЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ	173
<i>А.А. Иванов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО ГИПЕРИЗБЫТОЧНОГО МОДУЛЬНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИ РЕКОНФИГУРАЦИИ ЖИДКОЙ СРЕДЕ	175
<i>К.С. Артемьев, Е.С. Брискин, В.А. Серов, С.А. Устинов</i> ОБ УПРАВЛЕНИИ ПОНТОНОМ-ЗАГЛУШКОЙ ПРИ ГЛУШЕНИИ ПОДВОДНОЙ АВАРИЙНОЙ СКВАЖИНЫ	176
<i>Е.К. Игнатиади, И.К. Петушок</i> КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	178
<i>С.С. Кавтрев, М.Н. Плавинский, Е.Ю. Смирнова, Н.А. Щур</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ В СЛОЖНО- СТРУКТУРИРОВАННОМ ОКРУЖЕНИИ	181
<i>Д.А. Галкина</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО НАДВОДНОГО АППАРАТА С ЦЕЛЬЮ ОПЕРАТИВНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ВОДНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	182
<b>СЕМИНАР «РОБОТИЗАЦИЯ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ»</b>	<b>184</b>
<i>А.А. Жеребцов, Ю.С. Мочалов, А.Ю. Шадрин</i> ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКИ В ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ	184

<i>И.Ю. Даляев, А.А. Трутс, А.А. Шавликов</i> РОБОТИЗАЦИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТАНОВКИ ОСТЕКЛОВАНИЯ ВАО	185
<i>И.Ю. Даляев, В.М. Копылов</i> ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ПИРОХИМИЧЕСКОЙ ОБОРУДОВАНИЯ	186
<i>И.Ю. Даляев, А.Н. Белозуб, А.А. Шавликов</i> СПОСОБЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ СОРТИРОВКЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ	187
<i>С.В. Голубев, И.К. Сухарев</i> ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	189
<i>И.О. Вторушин, И.Ф. Гуцин, С.А. Косарев, В.В. Левцанов, А.Н. Лецинский, В.В. Приходько, В.В. Сапунов, В.В. Светухин, А.Н. Фомин, Е.М. Чавкин</i> РОБОТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТРУБОПРОВОДОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНЫХ СРЕД	190
<i>И.В. Войнов, Б.А. Морозов, М.В. Носиков</i> СДВОЕННАЯ РАДИАЦИОННО-СТОЙКАЯ МАНИПУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЗАЩИЩЕННЫХ КАМЕР	192
<i>М.В. Ремизов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАММА-ВИЗОРА ДЛЯ РАЗВЕДКИ ЗОН С ВЫСОКИМ РАДИАЦИОННЫМ ЗАРАЖЕНИЕМ	194
<i>М.В. Ремизов</i> ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ	195
<i>М.В. Ремизов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	196
<i>О.С. Матвеевко, С.А. Гамкрелидзе, А.С. Бугаев, Д.Л. Гнатюк, Н.К. Зенченко, А.В. Зуев, А.О. Михалев, А.Ю. Павлов, Д.В. Лаврухин, Ю.В. Федоров, П.П. Мальцев</i> РАДИАЦИОННОСТОЙКИЕ МОНОЛИТНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ РЛС ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ К- ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ	197

**СЕКЦИЯ «КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»**

---

***Е.В. Власенков, Н.М. Хамидуллина***  
**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ БОРТОВЫХ РАДИОИЗОТОПНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЯЖЕЛОГО  
ЛУНОХОДА НА КОСМОНАВТОВ ПРИ РАБОТАХ  
НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ**

*АО «НПО Лавочкина», г. Химки, Московская обл., veb@laspace.ru*

***E.V. Vlasenkov, N.M. Khamidullina***  
**ESTIMATION OF THE IMPACT OF ON-BOARD  
RADIOISOTOPE HEAT UNITS OF THE PROSPECTIVE  
HEAVY MOON ROVER ON THE COSMONAUTS WHEN  
WORKING ON THE LUNAR SURFACE**

*Lavochkin Association, Khimki, Moscow region, veb@laspace.ru*

В докладе рассматривается воздействие ионизирующего излучения радиоизотопных источников, расположенных на борту лунохода на организм космонавта. Расчеты основаны на типовом сценарии строительных работ при создании лунной базы в соответствии с мировыми тенденциями освоения Луны. Результаты расчета позволяют определить допустимое время работы для космонавтов при непосредственной работе и обслуживании лунохода на поверхности Луны.

Российская перспективная программа освоения Луны состоит из последовательных этапов. Второй этап данной программы подразумевает отработку средств доступа на поверхность Луны, первые пилотируемые полеты на поверхность Луны, создание и размещение на Луне первых элементов посещаемой базы. К этому моменту на поверхности Луны должны функционировать тяжелые луноходы, выполняющие научные задачи и обеспечивающие поддержку пилотируемых миссий. Техническая особенность данных луноходов связана с расположенными на борту радиоизотопными источниками тепла, необходимыми для обеспечения теплового режима аппаратуры в условиях лунной ночи длительностью около 14 суток и температурой поверхности до минус 190 °С.

Таким образом, важным условием работы космонавтов на поверхности Луны при работе или обслуживании луноходов является обеспечение их радиационной безопасности. В настоящей работе оценивается облучение от ионизирующего излучения космического

пространства и радиоизотопных источников и сравнивается с предельно допустимым значением эквивалентной дозы для космонавтов.

В докладе представлены, для различных вариантов работы космонавтов с луноходом, результаты расчетов зависимости допустимого времени работы от расстояния до радиоизотопных источников. Методология расчета включает также учет ослабления излучения конструкцией самого лунохода и скафандром космонавта.

*А.И. Быков, А.В. Артемьев*  
**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТЯГОВОЙ ДИНАМИКИ  
И УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТОХОДА  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОЛЕСНЫХ ШАССИ**

*Филиал АО «НПО Лавочкина», г. Калуга, bykovartem1994@yandex.ru,  
arav@laspace.ru*

*A.I. Bykov, A.V. Artemev*  
**THE RESULTS OF ANALYSIS OF A PLANET VEHICLE'S  
TRACTION DYNAMICS AND STABILITY OF MOTION  
FOR SPECIAL WHEEL CHASSIS' DETERMINING  
BOUNDARY DESIGN PARAMETERS**

*Affiliate of Lavochkin Association, Kaluga, bykovartem1994@yandex.ru,  
arav@laspace.ru*

При планировании научно-исследовательских миссий с использованием планетохода, к ходовой части предъявляются требования по устойчивости, проходимости, маневренности и прочим ходовым характеристикам. Данные характеристики планетохода во многом зависят от конструктивных параметров шасси [1].

Стоит отметить, что на конструкцию всего планетохода влияют ограничения, которые накладывает перелетный модуль на параметры массы и габаритов полезной нагрузки. Так же стоит обратить внимание на то, что размещение научной аппаратуры на планетоходе так же может повлиять на конструктивные параметры ходовой части [2].

Поэтому уже на ранних этапах проектирования планетохода необходимо проводить оценку влияния таких конструктивных па-



раметров как размеры колесных движителей и габариты на ходовые характеристики.

Существующие методики расчета конструктивных параметров планетоходов позволяют на основании анализа и сравнения структур шасси определять идеальные теоретические габаритные размеры и размеры колес [1][3][4]. Однако дополнительный анализ с целью определения граничных значений изменения данных параметров, при которых влияние на ходовые характеристики будут незначительными, было бы полезно на дальнейших этапах разработки.

При расчете параметров планетохода в основном опираются на анализ математической модели тяговой динамики и модели устойчивости движения. На основе анализа тяговой динамики, возможно определить функциональную зависимость размера колесного движителя на характеристики взаимодействия колеса с грунтом. Анализ статической и динамической устойчивости позволяет сформировать функциональную зависимость граничных значений высоты центра тяжести планетохода от его габаритных размеров [5].

Сопоставление результатов данных анализов позволяет провести комплексную оценку влияния габаритных размеров и размеров колесных движителей на ходовые характеристики. Результаты данной оценки позволяют сформировать исходные данные для дальнейшей проработки конструкции планетохода.

1. Быков А.И. Результаты анализа научно методологического подхода к оценке ходовых характеристик и методов испытаний шасси «Лунохода-1,-2»/ Двойные технологии. № 2(91). 2020г. С. 62-66.

2. L. Richter et al., A Predictive Wheel-Soil Interaction Model for Planetary Rovers Validated in Testbeds and Against MER Mars Rover Performance Data, proceeding of the 10th European Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems (ISTVS), October 2006.

3. Patel, N., A. Ellery, E. Allouis, M. Sweeting and L. Richter. «Rover mobility performance evaluation tool ( RMPET ) : A systematic tool for rover chassis evaluation via application of bekket theory.» ASTRA 2004, ESTEC, the Netherlands.

4. Bykov A. I., Artemev A.V., Sova A. N. Results of analysis of experimental ground testing methods of planetary rovers // EXTREME ROBOTICS.2019. №1. P.391-397.

5. Авотин Е.В., Болховитинов И.С., Кемурджиан А.Л., Маленков М.И., Шпак Ф.П. Динамика планетохода. // М: Наука, 1979 г. 440 с.

*А.В. Яскевич, В.М. Мирхайдаров, О.С. Андреев*  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ СБОРОЧНЫХ  
ОПЕРАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ НА МКС  
МАНИПУЛЯТОРОМ ERA**

*ПАО «РКК «ЭНЕРГИЯ», г. Королев, Московская обл.,  
Andrey.Yaskevich@rsce.ru*

*A.V. Yaskevich, V.M. Mirhaydarov, O.S. Andreev*  
**REAL TIME SIMULATION OF ASSEMBLY OPERATIONS  
EXECUTING ON ISS BY ERA ROBOTIC ARM**

*RSC Energia, Korolev city, Moscow region, Andrey.Yaskevich@rsce.ru*

На внешней поверхности модуля «Наука», который в этом году должен пристыковаться к российскому сегменту международной космической станции (МКС), будет установлен европейский космический манипулятор ERA. Он предназначен для выполнения различных, в том числе сборочных операций. Первыми из них будут выполнены установка радиатора и шлюзовой камеры, ранее доставленных на борт станции. Эти сборочные операции выполняются после завершения переноса упомянутых объектов к месту их соединения с помощью специализированных устройств. Они состоят из двух основных этапов. На первом манипулятор, управляемый оператором, обеспечивает относительное выравнивание устройств соединения и их сближение вплоть до сцепки, то есть образования первичной механической связи, которая возникает в результате захода подпружиненных защелок одного из устройств за упоры другого. При этом оператор управляет манипулятором в супервизорном режиме, периодически выдавая команды на выполнение поступательных и угловых перемещений по отдельным направлениям с заранее заданными амплитудами, которые являются параметрами команд. Команды выполняются манипулятором автоматически, а переход от одного движения к другому инициируется оператором. На втором этапе, после сцепки осуществляется жесткое соединение устройств с помощью ручных замков или приводов агрегата. При этом шарниры манипулятора находятся в расслабленном состоянии. Оператор манипулятора находится внутри станции и может выдавать команды с помощью компьютера, используя изображения соединяемых объектов с внешних телекамер или звуковые указания внешних операторов, находящихся в зоне сборки.

В РКК «Энергия» создан компьютерный стенд [1] для моделирования в реальном времени сборочных операций, выполняемых

манипулятором ERA, с целью выбора параметров команд и обработки процедуры управления, тренировки операторов. На этом стенде воспроизводятся динамика манипулятора и контактного взаимодействия устройств соединения объектов, предоставляемые оператору органы управления и средства визуализации обстановки.

Устройства соединения радиатора и шлюзовой камеры имеют малые по сравнению с ними размеры и их видимость с помощью телекамер сильно ограничена. Это затрудняет оператору манипулятора решение задачи наведения, поэтому модели изображений телекамер на стенде дополнены каркасными графическими 3D-моделями, которые детально отражают относительное положение и контактное взаимодействие применяемых устройств соединения при достижении их сцепки. Вид на экране этих моделей при установке радиатора и шлюзовой камеры приведен на рис. 1.

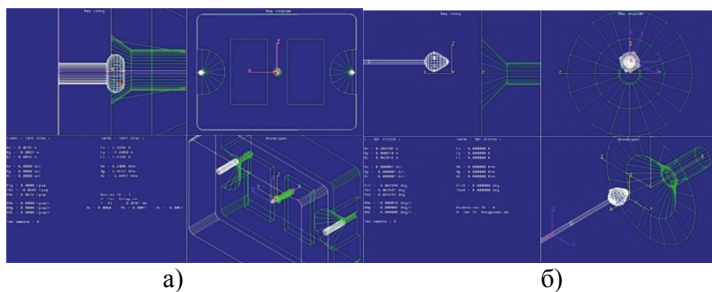


Рисунок 1 – Каркасные графические модели для поддержки оператора при установке: а) радиатора; б) шлюзовой камеры

Моделирование на стенде установки радиатора и шлюзовой камеры показало, что использование дополнительных каркасных графических моделей позволяет облегчить работу оператора, значительно снизить боковые и угловые рассогласования устройств соединения, отобразить процесс их контактного взаимодействия с учетом податливости исполнительного механизма манипулятора. Первоначально предполагалось использование этих моделей только для выбора параметров команд управления и для начального этапа тренировок операторов. В настоящее время решается вопрос о введении их как вспомогательных средств отображения в штатный контур управления.

1. Яскевич А.В., Лесков А.Г., Чернышев И.Е., Мирхайдаров В.М., Илларионов В.В., Морошкин С.Д. Математический стенд для

моделирования в реальном времени операций причаливания космических аппаратов. // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». СПб: Изд-во «Политехника-сервис». 2014. 416 С. (С. 182-186).

***П.П. Ананьев<sup>1</sup>, А.В. Плотникова<sup>1</sup>, А.С. Тимофеев<sup>2</sup>,  
Р.В. Мещеряков<sup>3</sup>, К.О. Беляков<sup>4</sup>***  
**К ВОПРОСУ О ТЕСТИРОВАНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ  
ОБЪЕКТАМ**

<sup>1</sup>Центр инновационных горных технологий, Москва; <sup>2</sup>Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН, Москва;

<sup>3</sup>Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва;

<sup>4</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, [cigt@mail.ru](mailto:cigt@mail.ru), [timofeev\\_ac@mail.ru](mailto:timofeev_ac@mail.ru), [mriv@iee.org](mailto:mriv@iee.org),  
[belyakovko@gmail.com](mailto:belyakovko@gmail.com)

***P.P. Ananayev<sup>1</sup>, A.V. Plotnikova<sup>1</sup>, A.S. Timofeev<sup>2</sup>,  
R.V. Meshcheryakov<sup>3</sup>, K.O. Belyakov<sup>4</sup>***  
**TESTING ROBOTIC SYSTEMS FOR MOVING IN SPACE  
OBJECTS**

<sup>1</sup>Center for Innovative Mining Technologies, Moscow; <sup>2</sup>Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow; <sup>3</sup>V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow; <sup>4</sup>Tomsk State University, Tomsk, [cigt@mail.ru](mailto:cigt@mail.ru), [timofeev\\_ac@mail.ru](mailto:timofeev_ac@mail.ru), [mriv@iee.org](mailto:mriv@iee.org), [belyakovko@gmail.com](mailto:belyakovko@gmail.com)

В докладе представлены подходы к тестированию напланетных робототехнических систем и комплексов, ориентированных на перемещение по космическим телам. Рассматривается поверхность космического тела и предлагается создание аналога реголита Луны и Марса. Отмечается, что необходимо соблюдение не только физико-химического и гранулометрического состава аналога, но и его электромагнитный заряд. Представлен общий вид программно-аппаратной системы для процесса создания реголита с заданными свойствами.

Развитие космической горной отрасли определяется целесообразностью создания продукции непосредственно в космосе, с использованием космического сырья [1-5]. Создание робототехнических систем с подобным функционалом может столкнуться с про-

блемой наземных испытаний из-за отсутствия земных аналогов горных пород, обладающими такими же специфическими свойствами как породы на природных космических объектах.

При тестировании различных систем, техники и аппаратуры требуется проверка не только частных задач, типа геометрической или динамической проходимости для наземного (вернее налунного) робота, но и работа в условиях повышенного электромагнитного поля. При создании космических робототехнических систем необходимо учитывать аномальные адгезионные свойства реголита, что вносит свои ограничения в использование космических систем на её поверхности [6]. Потенциал поверхности составляет примерно 100В, при нахождении Луны в магнитном хвосте Земли потенциал увеличивается и составляет от 200 В до 1000 В. Максимальный зафиксированный потенциал ночной стороны лунной поверхности составил 4000 В [6].

Аналог лунного грунта должен максимально точно воспроизводить поверхность Луны. Лунный реголит существенно отличается от любого земного материала из-за отсутствия эффектов выветривания от ветра, воды и эрозии на Луне. В зависимости от области применения имитатор разрабатывается для имитации определенных характеристик, таких как химический состав, геотехнические свойства или объемные свойства. Аналоги обычно разрабатываются на основе данных из возвращенных на землю миссией Apollo образцов. В настоящее время существуют большое количество аналогов из стольких разных стран и из различных базовых материалов, поэтому может быть трудно выбрать наиболее подходящий аналог реголита для конкретной исследовательской задачи [7]. Еще одна трудность заключается в том, чтобы точно сравнить результаты с аналогичными исследованиями в литературе, когда используются разные аналоги лунного реголита.

Коллективом Центра инновационных горных технологий [2] была создана оригинальная установка, который позволяет создавать заряд на аналоге грунта и тем самым обеспечивает возможность создания системы тестирования робототехнических комплексов.

Система тестирования, включающая программу и методику испытаний, будет включать в себя оценку допустимых граничных условий зарядов породы поверхностей космических объектов, при которых будет производиться перемещение.

Представляется перспективной отработка перемещение и тестирование робототехнических комплексов, предназначенных для перемещения по космическим объектам на полном аналоге косми-

ческих поверхностей, которые обеспечивают соблюдение не только физико-химических свойств, но и электромагнитных.

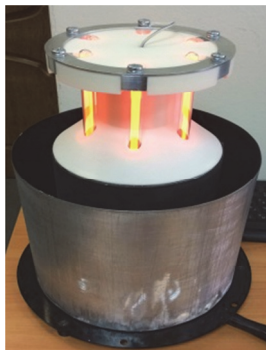


Рисунок 1 – Установка для производства аналога реголита

1. Мещеряков Р.В., Ананьев П.П., Беляков К.О., Васильев С.В., Плотникова А.В. Перспективы развития космической горно-перерабатывающей отрасли // Инновации 2016 г. №04 С. 3-8.

2. Ананьев П.П., Мещеряков Р.В., Ларионов П.В., Плотникова А.В., Беляков К.О. Методические подходы к переработке космического минерального сырья // Руды и металлы. 2017. № 2. С. 69-74.

3. Ананьев П.П., Беляков К.О., Плотникова А.В., Иванов П.Н., Мерзликин Г.В. Техничко-экономические требования к горным процессам и оборудованию при добыче воды из лунного грунта // Инновации 2016 г. №9 С. 7-10.

4. Игнатова А.М., Игнатов М.Н. Использование ресурсов реголита для освоения лунной поверхности // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 11-2. – С. 101-110;

5. Stephen J. Indyk, Naym Benaroya A structural assessment of unrefined sintered lunar regolith simulant Acta Astronautica 140 (2017) 517–536

6. A.N. Scott, C. Oze, Y. Tang, A. O’Loughlin Development of a Martian regolith simulant for in-situ resource utilization testing // Acta Astronautica, Volume 131, February 2017, pp.45-49. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.11.024> (дата обращения 23.03.2017).

7. Н.Д. Сёмкин, А.С. Видманов, Модели динамики движения лунной пыли и методы получения потоков заряженных частиц пылевых лабораторных условиях // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2013, С. 164 – 176.

*М.И. Калинов<sup>1</sup>, В.А. Родионов<sup>1,2</sup>*

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ  
КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО  
НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СУДОХОДСТВОМ ПО МАРШРУТУ  
СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ**

*<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, Санкт-Петербург; <sup>2</sup>Санкт-Петербургское отделение Секции прикладных проблем при Президиуме Российской академии наук, Санкт-Петербург, cesavo@mail.ru, var1959@mail.ru*

*М.И. Kalinov<sup>1</sup>, V.A. Rodionov<sup>1,2</sup>*

**FORECASTING THE RESULTS OF THE APPLICATION OF THE  
SPACE RADAR SURVEILLANCE SYSTEM FOR NAVIGATION  
ALONG THE ROUTE OF THE NORTHERN SEA ROUTE**

*<sup>1</sup>St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg; <sup>2</sup>St. Petersburg Branch of the Section of Applied Problems under the Presidium of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, cesavo@mail.ru, var1959@mail.ru*

Одним из наиболее эффективных средств, позволяющих в любых погодных условиях круглосуточно регулярно обновлять информацию о надводной обстановке по маршруту Северного морского пути и своевременно доводить ее до потребителей, являются космические системы (КС) радиолокационного наблюдения (РЛН). Путем прогнозирования результатов применения КС РЛН (оценки эффективности применения, ее информационных свойств и возможностей) может быть определен необходимый состав орбитальной группировки (ОГ) космических аппаратов (КА) системы.

Для получения таких оценок разработана соответствующая методика, включающая модель орбитального движения КА и модель движения объекта наблюдения (ОН) по маршруту Северного морского пути. Трансформация моделей в процедуру, позволяющую прогнозировать результаты применения КС РЛН, производится по схеме соединения правил определения факта появления события «обнаружение объекта» при каждом пролете КА над областью возможного появления ОН с аналитическими зависимостями, содержащимися в моделях [1, 2]. Графическое представление результатов прогноза применения КС на маршруте перехода ОН по Северному морскому пути представлено на рисунке.

Анализ полученных в процессе исследования оценок прогноза результатов применения КС радиолокационного наблюдения за

судоходством по маршруту Северного морского пути показал, что сравнительно приемлемым для решения задач наблюдения является состав ОГ 3 КА, имеющих наклонение орбиты 75 градусов и две полосы обзора шириной по 500 км. При этом ОН обнаруживается в среднем 1 раз за 2 часа.

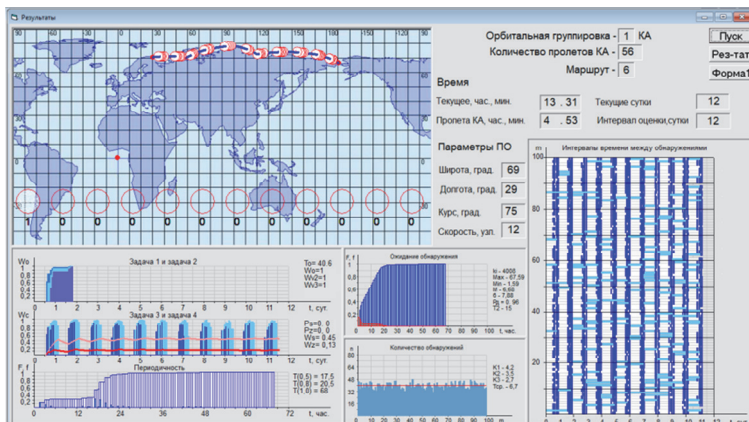


Рисунок – Графическое представление результатов прогноза применения КС на маршруте перехода объекта наблюдения по Северному морскому пути (состав ОГ – 1 КА)

Результаты выполненных исследований могут быть использованы при создании перспективной космической системы наблюдения за морскими объектами в Арктической зоне на базе малых космических аппаратов.

1. Калинов М.И., Калинов П.М., Родионов В.А. Имитационное моделирование и оценка эффективности применения информационных космических систем при проектировании и эксплуатации морской техники // Труды Третьей международной научно-практической конференции «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» – «ИКМ МТМТС-2015». СПб.: СПИИРАН, 2015. С. 88-92.

2. Анцев Г.В., Гуляков В.В., Калинов М.И., Родионов В.А. Моделирование и оценка эффективности применения многоярусной космической системы мониторинга морской поверхности // Морские информационно-управляющие системы. М.: АО «Концерн «Моринформсистема-Агат», 2017. № 2(12) С. 22-29.



*Е.Б. Коротков, О.В. Ширококов*  
**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ОПЫТ  
ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, shirok.93@mail.ru*

*Е.В. Korotkov, O.V. Shirobokov*  
**DESIGN FEATURES AND OPERATING EXPERIENCE  
OF SPACECRAFT ELECTRIC PUMP UNITS**

*Baltic state technical university «VOENMEH», St. Petersburg,  
shirok.93@mail.ru*

Космические аппараты (КА) являются сложными техническими комплексами, они выполняют широкий спектр задач, обладают высокой надежностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам. Одной из ключевых потребностей для устойчивой работы КА является непрерывное перераспределение тепловой энергии. Это обеспечивает поддержание оптимальной рабочей температуры для бортовой аппаратуры. Данную функцию выполняет система терморегулирования (СТР).

СТР существует несколько видов. Среди них особо нужно выделить активные однофазные и двухфазные системы. Эти разновидности СТР способны распределить наибольшие объемы тепловой энергии и находят применение в составе платформ КА тяжелого класса, пилотируемых орбитальных станций и автоматических межпланетных аппаратах.

Активные однофазные и двухфазные СТР представляют собой гидравлические системы, в составе которых непрерывно циркулирует жидкость – теплоноситель. Циркуляцию теплоносителя обеспечивает электронасосный агрегат (ЭНА). От безотказной работы ЭНА зависит работа СТР и КА. Высокая надежность ЭНА обеспечивается еще на этапе проектирования применением отказоустойчивых технических решений.

В данном докладе представлен зарубежный и отечественный опыт применения электронасосных агрегатов в составе активных СТР КА на протяжении последних 30 лет, рассматриваются их конструктивные особенности, их преимущества и недостатки.

***Н.С. Слободзян, В.О. Гончаров, В.Д. Грагерт***  
**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СКАЛЯРНОГО  
РАЗМКНУТОГО УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ  
ДВИГАТЕЛЕМ**

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, vog97@yandex.ru*

***N.S. Slobodzyan, V.O. Goncharov, V.D. Gragert***  
**STUDY OF METHODS OF SCALAR OPEN CONTROL  
OF A SYNCHRONOUS MOTOR**

*Baltic State Technical University «VOENMEH», St. Petersburg,  
vog97@yandex.ru*

Синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) имеют высокие показатели мощности относительно массогабаритных характеристик, поэтому часто применяются в составе исполнительных устройств в космической и авиационной технике. Известно, что для технических решений, применяемых в данной сфере, предъявляются повышенные требования к надежности и периоду безотказной работы устройств. Применение скалярного разомкнутого управления может обеспечить выполнение поставленных перед устройством требований по надежности и периоду эксплуатации.

Скалярное управление СДПМ основано на принципе  $U/f = const$ , где  $U$  — напряжение питания,  $a, f$  — частота питающего напряжения, что позволяет обеспечить разгон и поддержание двигателем заданной скорости и отказаться от датчиков положения ротора, уменьшающих надежность системы. Однако, при данном методе управления нельзя раздельно управлять скоростью и моментом, что может вывести двигатель из синхронизма при наличии возмущающего воздействия.

Для обеспечения устойчивости двигателя в таких системах вводятся стабилизирующие цепи, принцип работы которых основан на измерении тока питающего напряжения или тока обмоток фаз двигателя. Отслеживая возмущения тока, корректирующие звенья формируют компенсирующий сигнал, обеспечивающий поддержание в синхронизме полей ротора и статора и поддержание заданной скорости.

В данной статье рассмотрены и исследованы три метода скалярного разомкнутого управления: метод бездатчикового разомкнутого управления, метод управления с корректирующим звеном

в линии питания и метод управления с корректирующим звеном в линии фазы.

Компьютерная имитационная модель для исследования методов скалярного разомкнутого управления реализована в среде имитационного компьютерного моделирования MATLAB® Simulink®.

*И.Д. Евсиков, Н.А. Филиппов, Г.Д. Демин, Н.А. Дюзжев*  
**ПЕРСПЕКТИВЫ ВАКУУМНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ  
НА БАЗЕ АВТОЭМИССИОННЫХ НАНОСТРУКТУР  
ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ**

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва,  
Зеленоград, evsikov.ilija@yandex.ru*

*I.D. Evsikov, N.A. Filippov, G.D. Demin, N.A. Djuzhev*  
**PROSPECTS OF VACUUM INTEGRATED CIRCUITS BASED ON  
FIELD-EMISSION NANOSTRUCTURES FOR SPACE ROBOTICS**

*National Research University of Electronic Technology (MIET), Moscow,  
Zelenograd, evsikov.ilija@yandex.ru*

Программы освоения и использования космического пространства: космические полеты к дальним планетам Солнечной системы, планетарным спутникам, строительство платформ на Марсе – выполнение всех этих задач на текущий момент предоставлено роботизированным системам. Создание специализированных роботизированных систем для космического применения накладывает определенные ограничения на электронную компонентную базу, применяемую в таких системах, что связано с экстремальными внешними условиями открытого космоса и объектов Солнечной системы. Подходящей альтернативой традиционной полупроводниковой электронной компонентной базе может стать элементная база автоэмиссионной электроники.

За последнее десятилетие можно наблюдать возобновление исследований посвященных созданию устройств автоэмиссионной наноэлектроники. Достижение полупроводниковой интегральной технологии уровня суб-100 нм открыло перспективы создания автоэмиссионных наноразмерных устройств с квазивакуумным (по сути своей воздушным) каналом, длина которого не превышает длину свободного пробега электронов в воздухе [1]. Квазивакуумный канал проводимости в устройствах автоэмиссионной наноэлектроники

сводит к минимуму вероятность ударной ионизации молекул остаточных газов в межэлектродном пространстве прибора, таким образом, автоэмиссионные наноустройства не будут нуждаться в вакуумном корпусировании.

Баллистический перенос носителей заряда, в данном случае электронов, через квазивакуумный канал проводимости в автоэмиссионных приборах по физической сути ничем не отличается от переноса электронов в обычной вакуумной среде. При этом сохраняются все преимущества традиционных вакуумных устройств: радиационная стойкость, расширенный диапазон рабочих температур, высокие рабочие частоты. В публикации 2017 г. научная группа Центра нанотехнологий NASA (США) представила результаты испытаний радиационной и температурной стойкости кремниевых автоэмиссионных триодов с 50 нм квазивакуумным каналом проводимости [2]. Была продемонстрирована устойчивость изготовленных прототипов устройств к изменению окружающей температуры с 25 до 200 °С и влиянию эффектов поглощенных доз протонного излучения величиной 5 крад(Si) и гамма-излучения величиной 100 крад(Si). В рамках другой публикации, тот же коллектив авторов показал возможность создания интегральных схем гибридного типа, которые сочетали бы в себе как стойкость к экстремальным внешним условиям, так и преимущества КМОП технологии современных твердотельных транзисторов: низкую себестоимость, технологическую воспроизводимость и высокую степень интеграции [3].

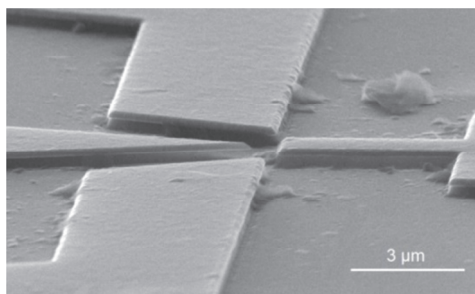


Рисунок 1 – РЭМ изображение автоэмиссионной структуры на основе молибдена

В настоящей работе разработан технологический процесс создания планарных автоэмиссионных диодных и триодных структур на основе молибдена (рис. 1). В пакете мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics выполнен расчет распределения

электрических полей в диодных и триодных планарных автоэмиссионных структурах. Произведена оценка величины тока автоэлектронной эмиссии, потребляемой мощности разработанных устройств и величины быстродействия в зависимости от различных величин межэлектродных расстояний. Полученные результаты могут быть использованы при создании элементной базы для устройств космического применения, в частности для робототехники аэро- и космической отрасли.

Данная работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП «МСТ и ЭКБ» (МИЭТ) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2020-216, 0719-2020-0017, мнемокод FSMR-2020-0017).

1. S.G. Jennings, «The mean free path in air» Journal of Aerosol Science. vol. 19(2)., pp. 159-166, 1988.

2. J.-W. Han, D.-I. Moon, and M. Meuyappan, «Nanoscale Vacuum Channel Transistor» Nano Letters. vol. 17., p. 2146, 2017.

3. J.-W. Han, J.S. Oh, and M. Meuyappan, «Co-fabrication of Vacuum Field Emission Transistor (VFET) and MOSFET» IEEE Transactions on Nanotechnology. vol. 13., p. 464, 2014.

*Н.А. Филиппов, П.Ю. Глаголев, Г.Д. Демин,*

*И.Д. Евсиков, Н.А. Дюзhev*

**РОБОТИЗИРОВАННАЯ ПЕРЧАТКА НА ОСНОВЕ  
СИСТЕМЫ МИНИАТЮРНЫХ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫХ  
СЕНСОРОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ  
ПРИМЕНЕНИЙ**

*НИУ Московский институт электронной техники (МИЭТ), Зеленоград,  
Москва, filippov@ckp-miet.ru*

*N.A. Filippov, P.Yu. Glagolev, G.D. Demin, I.D. Evsikov, N.A. Djuzhev*  
**ROBOTIC GLOVE BASED ON A SYSTEM OF MINIATURE  
MAGNETORESISTIVE SENSORS FOR MEDICAL AND SPACE  
APPLICATIONS**

*National Research University of Electronic Technology (MIET), Zelenograd,  
Moscow, filippov@ckp-miet.ru*

В работе с некоторыми опасными веществами может быть полезным, наряду с использованием роботов, применение систем, с непосредственным управлением оператором. В частности, манипу-

ляторы и перчатки считывающие положение пальцев и кистей рук, и имеющие обратную связь, позволяющую оценить прикладываемое к объекту манипуляций усилие.

Для определения относительного расположения в нашей перчатке предполагается использовать произведённые в нашем центре датчики на анизотропном магниторезистивном эффекте и на туннельном магниторезистивном эффекте (рис. 1). Применение данного типа датчиков должно улучшить точность определения координаты [1-3].

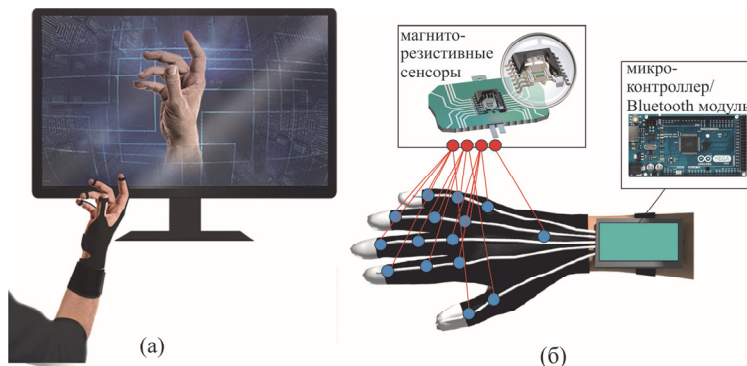


Рисунок 1 – Схема визуализации движения руки с использованием роботизированной перчатки

1. Rashid, O. Hasan, *Microelectronics* 88, 173 (2019).
2. R.T. Roemmich, A.J. Bastian, *Annu.Rev.Neurosci.* 41, 415 (2018).
3. B.-S. Lin, I.-J. Lee, P.-Y. Chiang, S.-Y. Huang and C.-W. Peng, *J. Med. Biol. Eng.* 39, 532 (2019).

*А.М. Бойко<sup>1</sup>, Р.А. Гиргидов<sup>2</sup>*

**КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМОВ  
ФОРМИРОВАНИЯ РОЯ АВТОНОМНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) В УСЛОВИЯХ  
ОТСУТСТВИЯ ГНСС И УСТОЙЧИВОЙ РАДИОСВЯЗИ**

*<sup>1</sup>ФТИ им А.Ф. Иоффе; <sup>2</sup>СПбПУ, Санкт-Петербург, boiko@theory.ioffe.ru,  
ruben@betria.com*

*A.M. Boiko<sup>1</sup>, R.A. Girgidov<sup>2</sup>*

**KEY FEATURES OF A SWARM ASSEMBLY ALGORITHM  
FOR AUTONOMOUS UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS)  
IN ABSENCE OF GPS SIGNALS AND STABLE RADIO  
COMMUNICATION**

*<sup>1</sup>Ioffe Institute; <sup>2</sup>Polytechnic University, St.Petersburg, boiko@theory.ioffe.ru,  
ruben@betria.com*

Уже достаточно длительное время специалистами обсуждаются те преимущества, которые возникают при использовании группы относительно небольших БЛА с распределённой полезной нагрузкой, работающих совместно над одной общей задачей. Но наиболее заметные практические успехи в управлении большими группами БЛА мы видим исключительно на шоу дронов, а не в реальных задачах зондирования поверхности планет, работы на полюсах и т.п.

Заметим, что в шоу дронов управление группой беспилотников реализуется как исполнение индивидуальных программ каждым БЛА независимо друг от друга. Одновременно с этим есть способ управления группой беспилотников, при котором все БЛА работают по одинаковой программе, а их взаимное расположение определяется непосредственно алгоритмом взаимодействия прямо в полёте. Первый способ управления – формирует строй или ордер, а второй – формирует рой.

В условиях полной недоступности ГНСС и наличия больших задержек в радиосвязи, построение строя становится крайне затруднительным, если не невозможным. Это происходит из того, что ошибки инерциальных навигационных систем будут только накапливаться со временем, скорректировать их оперативно через обратную связь с координатором будет невозможно и группа БЛА расфокусируется в пространстве.

Следовательно, в экстремальных условиях роевой алгоритм управления остается наиболее практичным способом управления группой автономных БЛА.

В нашей предыдущей работе [1], мы опирались на так называемую «кристаллическую» модель роя, основанную на физической идее взаимного «притяжения» и «отталкивания» БЛА. Доработанная «кристаллическая» модель весьма успешно формирует «решетку» из дронов. Эксперименты показали, что предложенный алгоритм взаимного ориентирования и позиционирования БЛА по размещенным на каждом из них маякам, обеспечивает устойчивость структуры роя при некоторых видах внешних возмущениях, но не может осуществить его сборку из далеко расположенных дронов.

В данной работе мы исследовали алгоритмы начальной сборки роя и объединения уже сформированных фрагментов роя в единый «кристалл». Мы использовали уже отработанные модели сенсоров и маяков и добавили некоторое «дальнодействие», поскольку в «кристаллической» модели, начиная с некоторой дальности, взаимодействие прекращается и, собственно, поэтому сборка и невозможна. В процессе работы мы обнаружили, что применение «дальнодействия» напрямую не ведет к формированию роя «кристаллической» структуры. Это объясняется с одной стороны тем, что накопленная при сближении издалека взаимная скорость дронов слишком велика, и дроны разлетаются, не успевая её погасить «кристаллическим» алгоритмом. А с другой стороны – с ростом размера роя дальное действие начинает существенно нарушать кристаллическую структуру, сжимая поверхность роя силой, аналогичной поверхностному натяжению.

В нашей работе показано, что есть способ решить вышеуказанные проблемы без модификации сенсоров и маяков. Если при сближении издалека к данным угломерной системы добавить постоянную поправку, то траектория сближения превращается в спираль. И при движении по спирали БЛА уже имеет достаточно времени, чтобы потерять накопленную скорость и встроиться в структуру роя. А если БЛА обнаруживает у себя более трех ближайших соседей, то он отключает дальнейшее взаимодействие и это сохраняет «кристаллическую» структуру роя. Таким образом, в данной работе мы завершили создание базовых алгоритмов и моделей приборной базы для формирования роев в экстремальных «марсианских» условиях.

1. «Обеспечение пространственной устойчивости роя автономных беспилотных летательных аппаратов», А.М. Бойко, Р.А. Гиргидов, Робототехника и техническая кибернетика, 9(2)2021



***А.А. Жуков, Е.И. Гребенюк, А.С. Александров, Н.А. Петелин***  
**ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
ЭЛЕМЕНТОВ МОБИЛЬНЫХ МИКРОРОБОТОВ**

*МАИ (национальный исследовательский университет) Москва,  
eig1.05@list.ru*

***A.A. Zhukov, E.I. Grebenyuk, A.S. Aleksandrov, N.A. Petelin***  
**TECHNOLOGY OF OPTICAL QUALITY CONTROL OF  
ELEMENTS OF MOBILE MICROBOTS**

*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow,  
eig1.05@list.ru*

Одно из направлений развития экстремальной робототехники связано с созданием мобильных шагающих микророботов, в состав которых входит платформа со служебной и целевой нагрузкой и исполнительные механизмы, выполненные на основе термомеханических кремниевополиимидных актюаторов. Применение микророботов возможно для решения широкого диапазона задач как в земных условиях, так и в открытом космосе или внутри герметичного отсека орбитальной станции [1]. При разработке конструктивно-технологических вариантов реализации микророботов для увеличения функциональных возможностей и создания многоуровневой платформы возникает необходимость формирования сквозных металлизированных отверстий как в платформе, так и непосредственно в кремнии актюаторов. В условиях планируемого серийного производства элементов микророботов такого типа возникает задача автоматизированного межоперационного контроля сквозных отверстий неразрушающим методом. В этой связи задача реализации микророботов становится актуальной.

Цель работы заключалась в разработке оптической технологии на базе дифракционного метода для оперативного контроля качества изготовления миниатюрных прецизионных микроотверстий в конструкциях микророботов с аспектным отношением свыше единицы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выявления информативных параметров дифракционного распределения, связанных с геометрией поверхности микроотверстия;

- получения эмпирических зависимостей, связывающих характеристические параметры дифракционного распределения с параметрами качества микроотверстий;

– разработки технологии и предложений по созданию автоматизированной установки дифракционного контроля микроотверстий в элементах кремниво-полиимидных актюаторов.

Технология изготовления кремниво-полиимидных актюаторов на базе методов «сухого», жидкостного травления или лазерной пробивки обеспечивает получение сквозных микроотверстий диаметром от 100 до 500 мкм с высокой плотностью на подложке [2]. В качестве технологии такой оперативной неразрушающей оценки предложен оптический метод, основанный на зондировании отверстий расходящимся пучком лазера и регистрации дифракционной картины в зоне дифракции Фраунгофера. Однако, как показал анализ литературных источников, дифракционный метод применяется для контроля отверстий с аспектным отношением менее единицы [3], в то время как элементы кремниво-полиимидных актюаторов отличаются аспектным отношением более единицы.

Нами проведено экспериментальное исследование дифракционных структур микроотверстий в диапазоне диаметров 100-350 мкм в кремниевых подложках. Исследования выполнены при зондировании микроотверстий лазером с длиной волны 0,67 мкм и регистрации дифракционных картин (ДК) светочувствительной матрицей 6000x4000 пк. Обработки ДК производилась разработанным специальным программным обеспечением.

Методом регрессионного анализа получены зависимости диаметров отверстий от параметров характеристических структур ДК. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет обоснованно подходить к идентификации геометрических параметров микроотверстий в кремнии с аспектным отношением более единицы – формы, диаметра, конусности, а также типовых дефектов на входном и выходном торцах.

Предлагаемая оптическая технология:

– предусматривает регистрацию ДК при освещении каждого отверстия с двух сторон и их дальнейшую совместную обработку по оригинальным алгоритмам;

– является информационным базисом при управлении качеством процесса получения отверстий за счет наличия взаимосвязи изменений в структуре ДК с параметрами и типом дефектов микроотверстий, обусловленных отклонением параметров технологического процесса изготовления.

Полученные результаты позволяют обоснованно подходить к разработке технологии мобильных шагающих микроботов.

1. Болотник Н.Н., Градецкий В.Г., Жуков А.А., Козлов Д.В., Смирнов И.П., Чашухин В.Г. Мобильный микроробот космического назначения: концепция и перспективы использования // Космические исследования. Т. 57. № 2. 2019. С. 132-138.

2. Косых А.В., Лепетаев А.Н., Одинец А.И. МЭМС: инерциальные системы, микроактюаторы, датчики // Омск, ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет». 2015. Электронный ресурс - Режим доступа URL: <http://www.omgtu.ru>. (дата обращения: 08.05.2021).

3. Тарлыков В.А. Лазерная дифрактометрия микрообъектов типовой формы // Дис. д-р технич. наук: 05.11.07. СПб. 2000. - 260 с.

*Ф.В. Васильев, А.А. Жуков, М.А. Коробков*  
**ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГОСТИ МИНИАТЮРНОГО  
ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО АКТЮАТОРА ШАГАЮЩЕГО  
МИКРОРОБОТА**

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, josef\_turok@bk.ru*

*F.V. Vasilyev, A.A. Zhukov, M.A. Korobkov*  
**ELASTICITY CHARACTERISTICS OF THE MINIATURE  
THERMOMECHANICAL ACTUATOR FOR WALKING  
MICROBOT**

*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, josef\_turok@bk.ru*

Увеличение количества запускаемых в космос спутников порождает необходимость разработки новых средств их контроля и диагностики в процессе эксплуатации. Возможным решением является разработка роботизированных систем на основе микромеханических актюаторов, которые изменяют собственную геометрию посредством нагрева от протекания через них электрического тока [1].

Целью работы является определение предельной полезной нагрузки актюатора, что требует решения таких задач, как: разработка метода определения коэффициента упругости, разработки лабораторного стенда и проведения натурных экспериментов.

Разработанный для определения усилия актюатора лабораторный стенд включает в себя весы и закрепленный над ними подвижный по вертикали стержень. Метод исследования основан на изменении силы упругости актюатора в зависимости от изменения последнего геометрии путем выпрямления (см. рисунок 1).

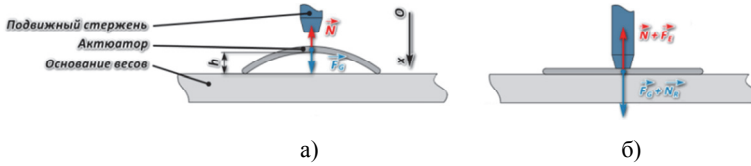


Рисунок 1 – Состояние актуатора в ходе эксперимента: а) отсутствие внешнего воздействия, б) полностью сжатый актуатор

Сначала на основание весов помещается исследуемый образец (см. рисунок 1, а) и в этот момент весы его собственный вес. Вес актуатора  $N$  по модулю равен его силе тяжести  $F_G$  (1). В формуле (1):  $m$  – масса актуатора,  $g$  – ускорение свободного падения. Чтобы в дальнейшем не учитывать силы  $F_G$  и  $N$ , производится тарирование стенда. В данный момент времени расстояние между высшей точкой нижней стороны актуатора равно  $h$ .

$$mg = F_G = -N \quad (1)$$

Затем происходит сжатие актуатора по вертикали с помощью стержня. Актуатор, препятствуя деформации, начинает действовать на шток с силой упругости  $F_E$ , а шток, в свою очередь, создает силу реакции опоры  $N_R$  и изменяет значение на весах. Возникающая сила  $F_E$  и является усилием актуатора, а масса  $m_E$  на весах отражает эквивалент силы, связь с которой осуществляется через ускорение свободного падения  $g$  (2). Сжатие продолжается до полного соприкосновения актуатора с основанием весов (см. рисунок 1, б), так как стержень еще не оказывает влияния на весы, а значение силы упругости  $F_E$  максимально и, соответственно, максимальное усилие. Измерения массы  $m_E$  проводились в моменты наполовину сжатого ( $\Delta h = 0,5h$ ) и полностью сжатого актуатора ( $\Delta h = h$ ).

$$-F_E = N_R = m_E g \quad (2)$$

На основе полученных данных по методу наименьших квадратов находится оценка коэффициента упругости актуатора (3), а также зависимость развиваемого усилия от его деформации (4). Измерения производились на весах, обеспечивающих точность  $\pm 0,1$  [г]. Полученные характеристики актуатора представлены в таблице 1.

Полученные результаты необходимы для дальнейшего построения математической модели робота, которая будет связывать грузоподъемность и скорость перемещения робота с геометрическими параметрами актуатора, а также параметрами источника питания.

Таблица 1 – Характеристики актюатора

Масса $m$ , [г]	Коэффициент упругости $k$ , [Н/м]	Максимальное усилие $F_{Emax}$ , [мН]	Максимальное сжатие $h_{max}$ , [мм]
0,03	7,13	13,25	1,8

$$\hat{k} = \frac{\sum_{i=1}^2 m_{Ei} \Delta h_i}{\sum_{i=1}^2 \Delta h_i^2} g \quad (3)$$

$$F_{Ei} = \hat{k} \Delta h \quad (4)$$

1. N.Bolotnik, V.Chashchukhin, V.Gradetsky, D.Kozlov, A.Nunuparov, I.Smirnov A.Zhukov. Thermomechanical Actuator for Microrobotic Systems: A Model and Parameter Estimation. ROMANSY 22 - Robot Design, Dynamic and Control. Proceedings of the 22nd CISM-IFToMM Symposium, June 25-28, 2018, Rennes, France. Vigen Arakelian and Philippe Wenger (Eds.), Springer, 2018. ISBN 978-3-319-78962-0. P. 340-346.

*И.Э. Новиков*

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ, АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И  
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА И  
РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ  
АВИАЦИОННОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ  
ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, novikov@rtc.ru*

*I.E. Novikov*

**SPECIAL METHODS, ALGORITHMIC AND SOFTWARE FOR  
MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESSES OF  
TRANSFER AND REGISTRATION OF GAMMA RADIATION  
AVIATION RADIATION MONITORING OF THE EARTH'S  
SURFACE**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, novikov@rtc.ru*

Авиационный радиационный контроль (АРК) является одним из основных и наиболее эффективных средств выявления наземной

радиационной обстановки, подразумевающего решение двух задач: основной - дистанционной оценки мощности дозы излучения на местности (для высоты 1 м) и дополнительной - обнаружения локальных источников излучения на поверхности Земли. В последние годы широкое развитие получает АРК на базе беспилотных летательных аппаратов. Спектрометрические методы позволяют существенно повысить эффективность АРК и расширить спектр решаемых им задач. Специфической чертой АРК земной поверхности является дистанционный характер проводимых измерений, выраженный в частности в существенном влиянии на их результаты рассеянного в воздухе излучения, что ограничивает возможности применение известных спектрометрических методов. Это приводит к необходимости разработки эффективных продвинутых подходов получения априорной информации АРК, позволяющих корректно учитывать влияние данного излучения при дистанционных измерениях, реализуемых на базе применения специальных методов физического или математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения. В ЦНИИ РТК накоплен определенный задел в применении этих методов. В настоящее время для градуировки аппаратуры АРК поверхности Земли в общем случае реально доступными являются только методы математического моделирования, с экспериментальной проверкой в контрольных точках, однако их реализация требует решения ряда специфических задач.

Разработаны специализированные математические методы, позволяющие оптимизировать процесс расчета характеристик поля гамма-излучения применительно к типовым задачам АРК [1,2,3]. Также разработано специализированное алгоритмическое и программное обеспечение для расчета априорной информации АРК на базе математического моделирования, позволяющего учесть возможные вариации наборов критических параметров АРК и реализующего указанные методы расчета.

Разработанный ЦНИИ РТК уникальный специализированный комплекс программ математического моделирования процессов переноса (распространения) и регистрации гамма-излучения для проектирования систем АРК и наземных дистанционных измерений позволяет учесть широкий диапазон возможных условий измерений, может применяться для детального исследования характеристик поля излучения в воздушно среде для различных вариантов радиоактивного загрязнения. Осуществлена верификация разработанного программного обеспечения и сравнение с результатами работы других известных программ, применяемых для этих целей

до высоты 500 м [2]. В [1] представлен пример использования этого комплекса для расчета высотного коэффициента приведения мощности дозы, измеренной на высоте полета, к 1 м для различных составов подстилающей поверхности.

1. Кожевников, Д.А. Оценка влияния состава подстилающей поверхности на результаты воздушной радиационной разведки / Д.А. Кожевников, И.Э. Новиков // АНРИ №1 (104), 2021. – С. 63-70.

2. Сухоруков, А.И. Основы теории аэрокосмического радиационного мониторинга Земли. Ч. 1 Физические основы радиационного дистанционного зондирования Земли / А.И. Сухоруков, И.Ф. Хисматов, И.Э. Новиков. – М.: Изд. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2011. – 312 с. – ISBN 978-5-903111-51-0.

3. Новиков, И.Э. Пакет программ математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения для проектирования и градуировки систем авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли / И.Э. Новиков // Вестник компьютерных и информационных технологий № 8, 2013. – С. 16-21.

*И.Э. Новиков*

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ  
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ДОЗЫ ГАММА-  
ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СЦИНТИЛЯЦИОННЫХ  
ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ АВИАЦИОННОГО РАДИАЦИОННОГО  
КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, novikov@rtc.ru*

*I.E. Novikov*

**AN ADVANCED SPECTROMETRIC METHOD FOR  
MEASURING THE DOSE RATE OF GAMMA RADIATION  
USING SCINTILLATION DETECTORS FOR AVIATION  
RADIATION MONITORING OF THE EARTH'S SURFACE**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, novikov@rtc.ru*

Развитие и применение радиационных технологий требует обеспечения возможности эффективного решения возникающих новых задач авиационного радиационного контроля (АРК), также существует потребность усовершенствования и оптимизации при-

меняемых методов АРК. После аварии на ЧАЭС в 1986 г. появилась потребность в обеспечении возможности проведения средствами АРК по измерениям, проводимым с высоты полета 50 - 250 м, дистанционной оценки мощности дозы (МД) излучения на местности (для высоты 1 м) для произвольного радионуклидного состава источника с учетом зависимости от энергетического спектра поля излучения. В настоящее время в практике АРК для оценки МД излучения на местности главным образом используется метод пересчета МД, измеренной на высоте полета, к значению на высоте 1 м путём умножения на соответствующий высотный коэффициент, данный метод не является спектрометрическим и не учитывает зависимости от энергетического спектра поля излучения.

В работе [1] был предложен новый метод определения МД с помощью оператора-преобразования «Спектр-Доза» непосредственно из аппаратурного спектрального распределения без сложных процедур восстановления истинного энергетического спектра гамма-излучения путем простого скалярного умножения вектора значений, измеренного аппаратурного спектра на вектор коэффициентов «Спектр-Доза», было обосновано существование этого оператора для пропорционального детектора. В работе [2] была подробно описана методика получения исходных данных и коэффициентов «Спектр-Доза» для оценки МД в лабораторных условиях на основе экспериментальных данных для твердотельного сцинтилляционного детектора на основе NaI (Тl). В работе [3] идеи этого метода были развиты для случая авиационной оценки МД поверхности Земли, что потребовало его существенного усовершенствования.

Специалистами ЦНИИ РТК разработан усовершенствованный (многоканальный) спектрометрический метод оценки МД поля гамма-излучения, применимого для дистанционных измерений АРК при произвольном нуклидном составе источника излучения. Разработанный метод является обобщением известного метода «Спектр-Доза» (спектральных весовых коэффициентов), его реализация позволяет совместить точное решение системы линейных уравнений с фильтрацией исходного сигнала. Разработанный усовершенствованный (многоканальный) спектрометрический метод оценки мощности дозы поля гамма-излучения позволяет помимо возможности получать корректное решение для дистанционных измерений АРК до высоты полета 250 м, также минимизировать необходимый для градуировки объем исходных данных, что особенно значимо при использовании для этого экспериментальных



данных. Метод может применяться для широкого класса дозиметров на базе сцинтилляционных спектрометрических детекторов.

Программная реализация указанного метода обладает простотой и удобством при эксплуатации, обеспечивает наглядность представления промежуточных и конечных результатов расчетов градиентных характеристик, что дает возможность применять этот метод для решения разнообразных дозиметрических задач.

1. Moriuchi S., A new method of dose evaluation by spectrum-dose conversion operator and determination of the operator / S. Moriuchi // JAERI 1209 (Japan Atomic Energy Research Institute). – 1970

2. Гладкая С.В., Описание комплекса программ по обеспечению измерений мощности экспозиционной дозы гамма-излучения спектрометрическим методом / С.В. Гладкая, В.С. Горев, В.А. Кожемякин // – Минск, 1981 – 40 с. (Препринт / Ин-т математики АН БССР : № 4 (105)).

3. Новиков, И.Э. Изучение возможностей повышения эффективности авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли / И.Э. Новиков // ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА И КОНВЕРСИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ: Труды Международной научно-технической конференции – Санкт-Петербург: 2018. – ISBN 978–5–907050–39–6. – С. 242-257.

*Т.Ю. Мамаева, А.К. Рыжаков*  
**НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ MICROCHIP  
ДЛЯ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

*АО «Восток», Санкт-Петербург, [tmamaeva176@yandex.ru](mailto:tmamaeva176@yandex.ru),  
[techsupport@vostok-24.ru](mailto:techsupport@vostok-24.ru)*

*T.Y. Mamaeva, A.K. Ryzhakov*  
**NEW DEVELOPMENTS BY MICROCHIP FOR HIGH  
RELIABILITY APPLICATIONS**

*Vostok JSC, St. Petersburg, [tmamaeva176@yandex.ru](mailto:tmamaeva176@yandex.ru), [techsupport@vostok-24.ru](mailto:techsupport@vostok-24.ru)*

Подразделение Aerospace компании Microchip Technology (ранее Atmel, Microsemi/Actel) является одним из признанных лидеров в разработке полупроводниковых технологий для ответственных применений. Ключевым аспектом миссии подразделения является выпуск радиационно-стойких компонентов. Вторая часть миссии

заключается в успешном опыте работы в быстро развивающемся высоконадежном сегменте рынка под названием «New Space». Производство продукции для «New Space» основано на перенесении коммерческих технологий в сферу систем специального назначения. Такой подход позволяет использовать в качестве опытных образцов доступные на рынке коммерческие компоненты, значительно снижая затраты на стадии разработки проекта. Процесс производства начинается с тщательного тестирования чувствительности коммерческого кристалла к излучению. В результате тестирования производится выбор изделий с максимальной устойчивостью к случайным воздействиям (SEE) и предельной дозой облучения (TID), при которой еще сохраняется работоспособность. В дальнейшем уровень качества электронных компонентов определяют процессы сборки и тестирования на сертифицированных производственных линиях.

Всего несколько лет назад был анонсирован выпуск первого в своем классе радиационно-устойчивого микроконтроллера, базирующегося на популярном коммерческом решении ATmega128. В настоящее время компания Microchip предлагает уже целую серию микросхем такого класса в металлокерамических или пластиковых корпусах. Среди них AVR и ARM микроконтроллеры, FLASH-память, конвейерный АЦП, микросхема физического уровня Fast/Gigabit Ethernet. Все эти устройства разрабатывались при поддержке Европейского космического агентства (ESA). Технические характеристики представленных изделий позволяют применять их в управляющих бортовых компьютерах кубсатов и наноспутников, полезной нагрузке, высоконадежных робототехнических устройствах, схемах управления питанием, температурного и радиационного мониторинга, детекторах частиц, системах ориентации космических аппаратов.

**СИМПОЗИУМ «НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»**

---

*А.А. Тачков*

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НАЗЕМНЫХ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СПЕЦИАЛЬНОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ**

*ИУЦ «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, tachkov@bmstu.ru*

*А.А. Tachkov*

**DESIGN PRINCIPLES OF CONTROL SYSTEMS  
FOR SELF-DRIVING UNMANNED GROUND VEHICLES**

*Science and educational center «Robotics» Bauman Moscow State Technical  
University, Moscow, tachkov@bmstu.ru*

Одной из ключевых научно-технических проблем по обеспечению автономности наземных робототехнических комплексов специального назначения (РТК СН) является проблема создания автономной (автоматической) системы управления движением (САУД) в условиях различных сред, таких как индустриально-городская среда, сеть дорог, пересеченная местность [1].

В докладе кратко освещены основные достижения в области построения САУД для беспилотных автомобилей и РТК СН. Отмечается, что рассматриваемые решения охватывают только частные аспекты проблемы построения САУД, поэтому в докладе она рассматривается совместно с целью создания системы управления движением. Это приводит к двум методологическим проблемам.

Первая методологическая проблема (проблема внешнего проектирования) заключается в несовпадении цели создания беспилотного автомобиля и РТК СН. В первом случае, цель – максимизация прибыли при заданном уровне безопасности и комфорта перевозки, во втором – в повышении эффективности (вероятности выполнения задачи) применения подразделений, которым придан РТК СН, за счет адаптации его системы управления к изменениям обстановки и возможной координации групповых действий [2].

Вторая методологическая проблема (проблема внутреннего проектирования) связана с необходимостью достаточно глубокого знания и умения работы с целым рядом технологий, которые в ком-

плексе используются при создании САУД. Полный комплект таких технологий<sup>1</sup> [3] представлен на рисунке.

Для удобства отдельные технологии комплекта объединены в группы: «аппаратный уровень», «внешнее программное обеспечение (ПО) и подготовка данных», «методологии» (научно-методический аппарат), «бортовое ПО» и «изделие». Рассмотрены все группы технологий. Основное внимание уделено алгоритмическому обеспечению, являющемуся базовой технологией САУД и реализующему конкретные проектные решения в соответствии с применяемыми технологиями из комплектов «аппаратный уровень», «внешнее ПО и подготовка данных» и «методологии». Системная интеграция отдельных технологий и внедрение САУД в РТК СН образуют уровень технологий, который назван уровнем «изделие».

Изделие	Внедрение САУД в РТК СН	
Бортовое программное обеспечение	Алгоритмическое обеспечение	Системная интеграция Интерфейс связи с оператором Внедрение
	Программная платформа	Система построения 2D, 3D модели Распознавание сцены Навигация
	Операционная система	Планирование траектории Принятие решений Траекторное управление
Методологии	Функциональная безопасность	Абстрагирование от аппаратных средств Связующее ПО
	Тестирование	Системы диагностики и отладки
	Проектирование	Ядро ОС Планирование задач Драйверы
Внешнее программное обеспечение и подготовка данных	Инструментарий разработчика	Безопасность движения Системная безопасность Функциональные проверки
	Обработка данных	Модульное тестирование Регрессионное тестирование Интеграционное тестирование
	Оперативное управление	Полунатурное моделирование Физическое моделирование
Аппаратный уровень	Картография	Пользовательский опыт Проектирование внутреннего взаимодействия ПО
	Карты	Проектирование внешнего взаимодействия ПО
	Датчики	Среда разработки Визуализация данных Имитационное моделирование
	Компоненты	Запись данных Прогнывание записанных данных Разметка данных
	Транспортная платформа	Управление процессом тестирования программных решений
		Удаленная диагностика
		Создание Аннотирование Обновление Распространение
		Топология объектов Реляционная база данных Формат хранения
		ГНСС Инерциальные системы Видеокамеры Тепловизоры
		Лазерные сканирующие дальномеры
		Вычислительные устройства Регистратор данных Хранилище данных
		Интерфейс: Привода Тормозная система Рулевое управление
		Электронные блоки

Рисунок – Полный комплект технологий, используемый при создании систем автоматического управления движением

В результате комплексного рассмотрения представленных технологий сформулированы принципы, которые необходимо использовать при построении САУД РТК СН:

<sup>1</sup> От англ. full stack (русск. перевод взят из кн.: Шефер К., Хо К., Харрон Р. Spring 4 для профессионалов. – 4-е изд. – М.: Вильямс, 2015. – 752 с.)

- принцип гарантированного результата выполнения задачи автономного движения;
- принцип коллаборативности;
- принцип агрегатно-модульного построения;
- принцип соизмеримости затрат и выгод;
- принцип обеспечения функциональной безопасности;
- принцип применения отечественной программно-аппаратной платформы;
- принцип унификации связующего программного обеспечения;
- принцип применения дискретно-событийной модели для логической синхронизации работы программных модулей.

1. Корчак В.Ю., Рубцов И.В., Рябов А.В. Состояние и перспективы развития наземных робототехнических комплексов специального назначения // Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, Вып. 3 URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/robot/628.html> (дата обращения 09.04.2021).

2. Ильин Л.Н. Проблемы создания наземной робототехники для Сухопутных войск / Л.Н. Ильин, П.А. Дульнев, В.Г. Ковалев // Военная мысль. – 2016. – № 11. – С. 65-71.

3. Principles of robot autonomy I: open-source automated driving stack «Autoware» / Lecture 21. URL: [http://asl.stanford.edu/aa274a/pdfs/lecture/lecture\\_21.pdf](http://asl.stanford.edu/aa274a/pdfs/lecture/lecture_21.pdf) (дата обращения 09.04.2021).

*Д.С. Яковлев, А.А. Тачков*

## **МОДУЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*НУЦ «Робототехника» МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва,  
yakovlevds@bmstu.ru, tachkov@bmstu.ru*

*D.S. Iakovlev, A.A. Tachkov*

## **MODULAR STRUCTURE FOR AUTONOMOUS MOTION CONTROL SYSTEM OF A GROUND UNMANNED VEHICLE**

*Science and Educational Center «Robotics» Bauman Moscow State Technical  
University, Moscow, yakovlevds@bmstu.ru, tachkov@bmstu.ru*

Доклад посвящен особенностям применения модульной архитектуры при разработке программного обеспечения (ПО) системы

автономного управления движением (САУД) робототехнического комплекса (РТК) в среде ROS.



Рисунок 1 – Структура системы управления РТК

Повышение требований к уровню автономности РТК приводит к возрастанию сложности систем управления движением. Отладка ПО САУД является сложной процедурой, занимающей существенное время. Кроме этого, по мере развития САУД расширяется набор алгоритмических решений для каждой из задач [1-2], которые требуют практической проверки и апробации. Как правило, выбор наиболее подходящей программной реализации такого решения связан с необходимостью его оперативной интеграции в САУД для последующего проведения экспериментальной проверки.

В докладе представлены результаты практического применения модульной структуры ПО САУД (рисунок 1), которая поддерживает оперативное подключение алгоритмических решений в виде встраиваемых программных модулей.

Авторами описаны достоинства модульной структуры при реализации системы управления в среде ROS. Представлен ряд особенностей отладки САУД с модульной структурой, указаны преимущества и недостатки при её практическом использовании.

В докладе приводятся результаты работы САУД при автономном движении макета РТК.

1. Яковлев Д.С., Тачков А.А. Вероятность столкновения автономного мобильного робота с препятствием. Мехатроника, автоматизация, управление. 2021;22(3):125-133.  
<https://doi.org/10.17587/mau.22.125-133>.

2. Liu S.B. and etc. Provably Safe Motion of mobile robots in human environments. International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS-2017), 2017.

*Н.А. Бузлов, А.А. Тачков*  
**ПРИМЕНЕНИЕ СКАНИРУЮЩИХ ЛАЗЕРНЫХ  
ДАЛЬНОМЕРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ  
ЗАДАЧИ АВТОНОМНЫМИ НАЗЕМНЫМИ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*НУЦ «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва,  
tachkov@bmstu.ru, nikita\_buzlov@outlook.com*

*N.A. Buzlov, A.A. Tachkov*  
**LiDAR BASED OUTDOOR NAVIGATION FOR UNMANNED  
GROUND VEHICLES**

*Science and educational center «Robotics» Bauman Moscow State Technical  
University, Moscow, tachkov@bmstu.ru, nikita\_buzlov@outlook.com*

Одной из ключевых научно-технических задач, решение которой необходимо для обеспечения режима автономного движения наземных робототехнических комплексов специального назначения (РТК СН) в условиях, как пересеченной местности, так и индустриально-городской среды, является задача навигации. От качества ее решения зависит корректность работы системы автономного управления движением (САУД) в целом [1]. Наиболее популярными методами оценки положения и ориентации робота является комплексование информации от нескольких источников: колесной одометрии, бесплатформенной инерциальной навигационной системы и глобальной спутниковой навигационной системы.

В докладе рассматривается применение лазерного сканирующего дальномера для решения задачи навигации и картографирования в САУД.

Традиционно лидары используются для определения положения и ориентации РТК СН в методах сопоставления сканов, таких как ICP [2], NDT [3]. Данные алгоритмы обладают недостатками в случае их применения в условиях слабоструктурированной местности, характерной для движения РТК СН, поэтому в работе рассматривается новый метод сопоставления сканов с использованием искусственных потенциальных полей [4].

Алгоритм искусственных потенциальных полей базируется на предварительном создании карты, каждая ячейка которой хранит значение функции силы. Значение функции силы формируется на основе суммы сил векторов от каждой точки скана (рис 1). Последующие сканы помещаются в карту, а на точки воздействуют силы. Путем расчета главного вектора сил и моментов определяется смещение робота между двумя сканами.

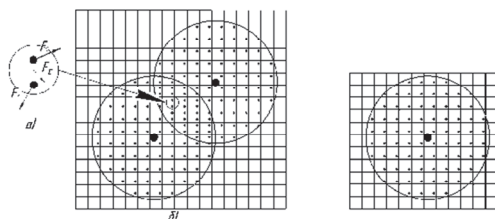


Рисунок 1 – Пример расчета результирующей силы двух пересекающихся искусственных потенциальных полей от каждой точки скана ( $F_1$ ,  $F_2$  – силы, действующие на каждую точку скана соответственно,  $F_\Sigma$  – сумма двух сил

Описанный метод лазерной одометрии позволяет оценивать положение и ориентацию РТК СН без привязки к типу местности. Для решения задачи картографирования в докладе рассматривается метод построения и оптимизации графа [5].

Предложенные методы использования лазерного сканирующего дальномера для РТК СН позволяют улучшать качество автономного движения. При этом область применения лидара для решения задачи навигации не ограничивается только рассмотренными методами. В докладе освещено применение лидаров при построении корреляционно-экстремальных навигационных систем на основе обзорного метода.



1. Герасимов В.Н., Михайлов Б.Б. Решение задачи управления движением мобильного робота при наличии динамических препятствий. Инженерный журнал: наука и инновации. 2012(6(6)).
2. P. j. Besl, N. D. McKay, A method for registration of 3-D shapes // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, pp. 239-256, 1992.
3. P. Biber and W. Strasser, The normal distributions transform: A new approach to laser scan matching, [Proc. of Intelligent Robots and Systems], 2003. vol. 3, pp. 2743-2748, DOI 10.1109/IROS.2003.1249285.
4. N.A. Buzlov, Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie, Scan-matching for navigation of a mobile robot in semi-structured terrain condition, Moscow, 22(5), pp.246-254.
5. R. Kümmerle, G. Grisetti, H. Strasdat, K. Konolige, W. Burgard, g2o: A General Framework for Graph Optimization. 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2011.

*С.Ю. Курочкин, А.А. Тачков*  
**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ  
МОДЕЛИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
С УЧЕТОМ ПРИВОДНОГО УРОВНЯ**

*НУЦ «Робототехника» МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва,  
kurochkin.smn@gmail.com, tachkov@bmstu.ru*

*S.Yu. Kurochkin, A.A. Tachkov*  
**PARAMETERS IDENTIFICATION OF UNMANNED GROUND  
VEHICLE DYNAMIC MODEL CONSIDERING LOW LEVEL  
CONTROL**

*Science and educational center «Robotics» Bauman Moscow State Technical  
University, Moscow, kurochkin.smn@gmail.com, tachkov@bmstu.ru*

Доклад посвящен вопросу определения динамических характеристик наземного робототехнического комплекса (РТК) с учетом системы управления приводного уровня. При разработке элементов системы управления РТК, например, траекторного регулятора, в котором используется модель прогнозирующего управления, или групповых алгоритмов движения необходимо иметь представление о динамике управляемого объекта. В литературе распространены два подхода к построению модели динамики колесного или гусеничного транспортного средства: использование нелинейной моде-

ли, максимально подробно описывающей процессы, возникающие во время движения[1], и применение линейных моделей второго или третьего порядка с запаздыванием[2].

В рамках данной работы для описания динамики РТК используются две линейные модели с запаздыванием (линеаризованные в рабочей точке), описывающие динамику прямолинейного движения и поворота РТК с учетом приводного уровня. Задача идентификации заключается в определении параметров передаточных функций моделей: запаздывания и коэффициентов полиномов числителя и знаменателя.

В качестве примера рассматривается РТК массой 50 кг, оснащенный шестью неповоротными мотор-колесами, инерциальной навигационной системой и лазерным сканирующим дальномером. Система управления РТК реализована по принципу агрегатно-модульного построения[3], в качестве связующего программного обеспечения используется ROS (Robot Operating System). Основные модули данной системы включают в себя: модуль взаимодействия с приводным уровнем робота, модуль траекторного регулятора, драйверы датчиков, а также модули навигации, планирования траектории и др. На этапе подготовки данных для идентификации параметров моделей была записана телеметрическая информация общей длительностью 400 секунд с управляющими командами от системы управления РТК и данными с датчиков с информацией о линейной и угловой скорости.

Задача идентификации решалась отдельно сначала для прямолинейного движения РТК, затем для поворота при помощи библиотеки MATLAB System Identification Toolbox методами инструментальных переменных[4] и ошибок прогнозирования[5]. Был проведен анализ соответствия данных, полученных в результате численного моделирования, в результате которого были выбраны передаточные функции, наиболее адекватно описывающие динамику движения РТК: третьего порядка с запаздыванием 0,3с для прямолинейного движения (коэффициент детерминации  $VAF = 93,3\%$ ) и второго порядка с запаздыванием 0,9с для поворота ( $VAF = 89,9\%$ ).

Таким образом, было показано, что для описания динамики мобильного РТК с бортовым поворотом при прямолинейном движении допускается ограничиться линейной моделью третьего порядка с запаздыванием, в то время как линейная модель второго порядка, описывающая динамику поворота РТК, справедлива лишь для определенных рабочих точек, ввиду значительных нелинейностей, возникающих во время поворотов.

1. Rajamani R. Vehicle dynamics and control. Springer Science & Business Media, 2011.
2. Xiao L., Gao F. Practical string stability of platoon of adaptive cruise control vehicles //IEEE Transactions on intelligent transportation systems. 2011. Т. 12. №. 4. С. 1184-1194.
3. Рудианов Н.А., Хрущев В.С. Функциональный подход к проектированию специализированных робототехнических комплексов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 1. С. 18 – 27. DOI 10.23683/2311-3103-2019-1-18-27.
4. Van Overschee P., De Moor B. L. Subspace identification for linear systems: Theory Implementation Applications. Springer Science & Business Media, 2012.
5. Льюнг Л. Идентификация систем: Теория для пользователя. Наука, 1991. Т. 432.

*А.В. Козов, А.А. Тачков*

**РЕАЛИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ  
МОДЕЛЬНОГО ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ**

*НУЦ «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва,  
alexey.kozov@gmail.com, tachkov@bmstu.ru*

*А. V. Kozov, A. A. Tachkov*

**IMPLEMENTATION OF THE TRAJECTORY CONTROLLER  
BASED ON A MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR AN  
UNMANNED GROUND VEHICLE**

*Science and Educational Center «Robotics» Bauman Moscow State Technical  
University, Moscow, alexey.kozov@gmail.com, tachkov@bmstu.ru*

Доклад посвящён одной реализации траекторного регулятора для наземного робототехнического комплекса (РТК). Траекторный регулятор обеспечивает автономное движение РТК по заданной траектории с учётом требований, предъявляемых к отклонениям от неё (поперечная ошибка  $e^n$  и угловая ошибка  $e^\varphi$ ). Отличием представляемой реализации от существующих подходов [1, 2] является, во-первых, применение в контуре управления линеаризованной модели динамики шасси РТК (рис. 1, модуль  $P$ ) для предсказания положения РТК через заданный промежуток времени  $\tau$ , во-вторых, управление движением без решения задачи оптимального управления.

Реализованный траекторный регулятор является одним из компонентов системы автономного управления движением РТК. В докладе продемонстрирована работа реализованного траекторного регулятора при автономном движении РТК по слабопересечённой местности.

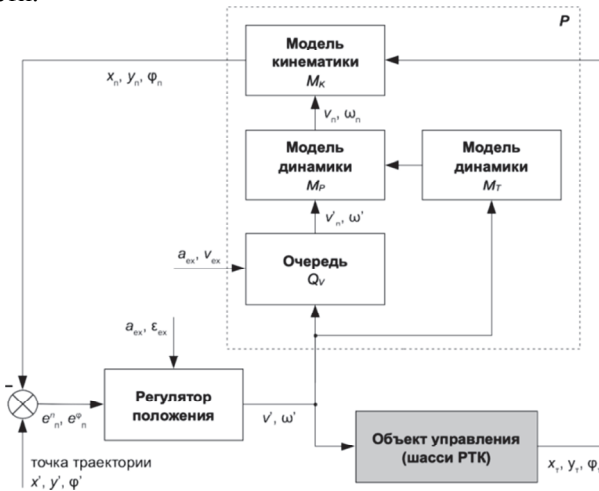


Рисунок 1 – Структурная схема траекторного регулятора; обозначения:  $\cdot_n$  – предсказанное значение,  $\cdot_t$  – текущее значение,  $\cdot_{ex}$  – предельное значение,  $\cdot'$  – требуемое значение

Регулятор положения рассчитывает управляющие воздействия по линейной и угловой скоростям ( $v'$ ,  $\omega'$ ) исходя из предсказанного положения РТК так, чтобы компенсировать его отклонение от целевой (ближайшей к предсказанному положению) точки ( $x'$ ,  $y'$ ) с учетом кривизны траектории (ориентации  $\phi'$ ) через промежуток времени  $\tau$ . Для оценки предсказанного положения РТК используются очередь спрогнозированных управляющих воздействий по линейной скорости  $Q_v$ , модель кинематики  $M_K$  и линеаризованные модели динамики – отслеживающая вектор состояний РТК модель  $M_T$  и прогнозирующая модель  $M_P$ . Состояния в отслеживающей модели используются как начальные условия при интегрировании системы дифференциальных уравнений в прогнозирующей модели за промежуток времени  $\tau$ . Такая структура позволяет оценивать положение РТК через время  $\tau$  с высокой точностью при адекватных объекту управления моделях  $M_T$  и  $M_P$ .

Описанная структурная схема реализована как библиотека тра-

екторных регуляторов на языке C++ с использованием связующего программного обеспечения ROS. Разработана иерархия классов: абстрактный базовый класс траекторного регулятора, наследующие классы регуляторов для автомобильной и дифференциальной кинематических схем шасси. Отдельный класс реализует «модуль предсказания», использующий объекты класса модели динамики.

1. Snider J. M. Automatic steering methods for autonomous automobile path tracking // Robotics Institute, Pittsburgh, PA, Tech. Rep. CMU-RITR-09-08. 2009.

2. Grüne L., Pannek J. Nonlinear model predictive control // Non-linear Model Predictive Control. Theory and Algorithms. Springer, 2017. Pp. 45-69.

*С.М. Соколов, А.А. Богуславский, Н.Д. Беклемишев*  
**ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ  
НАЗЕМНОГО РТК НА ОСНОВЕ ЗРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ**

*ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, sokolsm@list.ru*

*S.M. Sokolov, A.A. Boguslavskiy, N.D. Beklemishev*  
**FORMATION OF THE INFORMATION FIELD OF THE  
GROUND VEHICLE BASED ON VISUAL DATA**

*KIAM RAS, Moscow, sokolsm@list.ru*

Робототехнические комплексы повышенной степени автономности требуют адаптивных систем управления с развитыми средствами ситуационной осведомлённости и интеллектуальными алгоритмами сбора и обработки данных [1]. В составе средств информационного обеспечения РТК на центральную роль выдвигаются системы технического зрения. СТЗ позволяют в активном (с подсветкой) и в пассивном режиме, используя внешнюю лучистую энергию, собирать большое количество информации об объектах среды функционирования и расположении РТК, заменить или дополнить ряд других датчиков [2-3].

Вместе с тем, большие объёмы и зависимость качества зрительных данных от условий наблюдения ставят задачи их рационального отбора и эффективной обработки для решения конкретных задач, стоящих перед автономным РТК. В докладе рассматривается компо-

новка программно-аппаратной и алгоритмической части систем технического зрения обеспечивающая рациональный отбор, эффективную обработку зрительных данных с учётом ограничений бортового исполнения и формирование информационного поля, необходимого для автономного решения навигационной задачи. Приводятся соотношения, позволяющие оценивать характеристики составляющих СТЗ для достижения требуемых точности и надежности решения навигационной задачи. Особое внимание уделено обеспечению безопасности и надежности функционирования робота в условиях, когда система глобальной навигации и карта местности может быть недоступна. В западной литературе подобный подход получил название SLAM [4].

В решении навигационной задачи рассматриваются два основных направления: оптическая одометрия и организация целенаправленных перемещений с использованием зрительных ориентиров. В качестве методической основы используется концепция интерпретирующей навигации [5] и компоновка информационной системы в конфигурационном пространстве [6]. В программном обеспечении унифицирующей основой является авторский программный каркас систем технического зрения реального времени [7].

В аппаратной части СТЗ выделяется два типа устройств/блоков: регистрирующие и вычислительно-управляющие. Эти блоки компонуются в модульные, оперативно перестраиваемые конфигурации [8]. Рассматривается три основных типа регистрирующих блоков: панорамный или всенаправленный; стерео; и монокулярный. В каждом из полей зрения есть своя специфика сбора и обработки зрительных данных. Поля зрения всех регистрирующих блоков объединяются в единое информационное пространство во внутреннем представлении робота.

Всё окружающее подвижное средство пространство делится на три области: ближняя, средняя и дальняя, в которых, в свою очередь, выделяются подобласти интереса. Сбор зрительных данных в областях интереса производится в соответствии с выработанной стратегией для решения требуемой задачи и учётом текущих условий. Рассмотрение иллюстрируется результатами экспериментов с макетом СТЗ по решению навигационной задачи в условиях загородного движения. Обсуждаются пути развития и совершенствования предложенного подхода.

1. Д.С. Чиров. Интеллектуальные методы распознавания тактических ситуаций в условиях автономного применения робототехниче-

ских комплексов военного назначения // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009.

2. Rezaei M., Klette R. Computer Vision for Driver Assistance. Springer, 2017.

3. Lopez A. et al. Computer Vision in Vehicle Technology. Wiley, 2017.

4. Mur-Artal Raúl, Tardós Juan D. ORB-SLAM: Tracking and mapping recognizable features // MVIGRO Workshop at Robotics Science and Systems (RSS), Berkeley, USA. — 2014. SLAM in realistic environments. <http://www.nada.kth.se/utbildning/forsk.utb/avhandlingar/lic/020220.pdf>

5. Кирильченко А.А., Платонов А.К., Соколов С.М. Теоретические аспекты организации интерпретирующей навигации мобильного робота. Препринт ИПМ № 19, Москва, 2008.

6. Богуславский А. А. и др. Модели и алгоритмы для интеллектуальных систем управления. – 2019.

7. Sokolov, S.M., Boguslavsky, A.A. Methodological aspects for the development of information systems of unmanned mobile vehicles. // In Proc. of the 13th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO2016), July 29-31, 2016, vol.2, pp. 492-498.

8. Соколов С.М., Богуславский А.А., Романенко С.А. Программно-аппаратные средства для бортовых систем информационного обеспечения подвижных средств с использованием СТЗ // Известия ЮФУ. Технические науки, 2020, № 1, с. 246-257

*К.С. Паньшин, И.В. Зайко*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАССИ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*АО «ВНИИ «Сигнал», г. Ковров, zaiko@vniisignal.ru*

*K.S. Panshin, I.V. Zaiko*

## **CHASSIS AUTOMATION COMMONLY RELEASED WHEELAND AND TRACKED VEHICLES**

*JSC «VNII «Signal», Kovrov, zaiko@vniisignal.ru*

В статье рассмотрены особенности автоматизации/роботизации шасси серийно-выпускаемых транспортных средств, система управления движением такого шасси и универсальный блок управления движением автоматизированных/роботизированных транспортных

средств. Описан принцип работы блока управления движением. Обоснована актуальность разработки и использования автоматизированных/роботизированных транспортных средств (гражданских, военных и специальных).

Автоматизация шасси предназначена как для облегчения работы водителя и последующей реализации систем помощи водителю, так и для повышения информационной осведомленности о состоянии шасси. Кроме того на основе автоматизированного шасси может быть создано беспилотное или дистанционно управляемое транспортное средство.

Для работы в дистанционном или автономном режимах роботизируемое транспортное средство должно иметь необходимый минимум: автоматизированную коробку передач, электрический усилитель руля (для колесных шасси), электропневматический (электрогидравлический) привод сцепления (при наличии сцепления). Также роботизируемый автомобиль дополнительно оснащается набором различных датчиков и преобразователей информации, вспомогательной аппаратурой и высокопроизводительной информационно-вычислительной системой [1].

Одной из основных систем автоматизируемых/роботизируемых изделий является система управления движением, способная принимать сигналы с датчиков шасси, обрабатывать их в соответствии с заданным алгоритмом и выдавать управляющие сигналы на исполнительные органы. Ее основной блок - универсальный блок управления движением должен сочетать в себе быстроедействие, многозадачность, возможность самотестирования и контроля параметров системы управления, иметь защиту от короткого замыкания силовых цепей, достаточное количество силовоточных и слаботочных релейных, цифровых и аналоговых выходов с напряжением уровня бортовой сети, а также цифровых и аналоговых входов, разветвленную интерфейсную систему.

Универсальный БУД предназначен как для грузовых колесных автомобилей типа КАМАЗ, Урал, МАЗ, так и для гусеничных шасси типа БМП, БМД и т.д. Основная функция БУДа – это запуск и остановка двигателя, управление направлением движения транспортного средства (вперед, назад, влево, вправо), переключением передач, управление световыми и звуковыми приборами.

Опыт разработки блоков управления движением для различных шасси показал целесообразность разделения БУД на силовую и управляющую части. Причем универсальный управляющий блок предлагается комбинировать с различными вариантами силовых



блоков (входящими в семейство силовых блоков) в зависимости от поставленных задач.

Управляющий блок предназначен для приема и обработки команд от штатного электронного блока управления двигателя (при его наличии), контроллера верхнего уровня или от оператора (водителя) и выдачи управляющих сигналов: аналоговых, цифровых (CAN, COM), релейных ШИМ-сигналов напряжением уровня бортсети. Наличие такого функционала управляющего блока позволяет не только автоматизировать сбор и обработку информации с датчиков, но и создает задел для дальнейшей роботизации шасси (при необходимости).

В настоящее время АО «ВНИИ «Сигнал» имеет опыт разработки подобных блоков управления для гусеничных и колесных машин как гражданского так и специального и военного назначения. Определены наиболее часто востребованные цепи, функции, их количество. Разработаны технические требования к универсальному блоку управления. В рамках перспективных ОКР был разработан универсальный блок управления движением с базовым набором входов и выходов. Разработаны также предложения по составу семейства силовых блоков.

1. Паньшин К.С., Зайко И.В., Универсальный блок управления движением роботизированных транспортных средств специального назначения. // Сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». 8-12 2021г.

2. Прозоров Д. П. Автоматизация управления образцами БТВ// Омский научный вестник/Омск.

3. Робототехнические средства, комплексы и системы военного назначения. Основные положения: Методические рекомендации / М.,

4. Рубцов И.В., Бошляков А.А., Лапшов В.С., Машков К.Ю., Носков В.П. Проблемы и перспективы развития мобильной робототехники военного назначения // Инженерный журнал: наука и инновации. 2015 г.

*И.А. Шипов*

**УНИФИЦИРОВАННАЯ МОНОБЛОЧНАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ  
СИСТЕМА НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ**

*АО «ВНИИ «Сигнал», г. Ковров, shipovia@gmail.com*

***I.A. Shipov***

## **UNIFIED MONOBLOCK INTERNAL SYSTEM FOR GROUND-BASED ROBOTICS SYSTEMS**

*VNI Signal JSC, Kovrov, shipovia@gmail.com*

Типовая структура навигационной системы наземного робототехнического комплекса включает в себя несколько базовых ключевых элементов [1]. Оптимизация массогабаритных характеристик навигационного оборудования – одно из основных направлений развития наземных робототехнических комплексов.

Ключевые функции решаемые навигационным оборудованием:

- определение углов ориентации;
- определение глобальных и локальных координат положения;
- решение прикладных геодезических задач.

При этом для выработки навигационного решения требуются данные от инерциальной системы ориентирования, датчиков линейной скорости, аппаратуры спутниковой навигации, системы определения высоты, систем автоматизации движения, дальномера, стереоскопических систем и RTK-навигации.

Для ряда наземных робототехнических комплексов специального назначения возможно реализовать унифицированный подход к навигационному оснащению. При этом в инерциальной навигационной системе должно быть реализовано сопряжение с максимальным возможным количеством периферийных устройств, а также интеграция всех возможных компонентов в единый корпус. Таким образом при реализации унифицированных протоколов и применении многоабонентных интерфейсов информационного взаимодействия, вычислительный блок из состава инерциальной системы ориентирования становится точкой сопряжения и комплексной обработки данных.

В едином корпусе унифицированной моноблочной инерциальной системы могут быть размещены триады чувствительных элементов, высокопроизводительный вычислитель и приемник спутниковой навигации. При этом одометрическая информация может быть получена от цифрового спидометра или системы управления движения входящих в состав роботизированного объекта. В качестве базовых интерфейсов взаимодействия могут использоваться высокоскоростные многоабонентные шины CAN, Ethernet и MCIO.

Моноблочное исполнение инерциальной навигационной системы позволит улучшить массогабаритные характеристики, исключить необходимость проработки размещения дополнительных устройств в шасси, а также обеспечит возможность комплексной обработки всех полученных данных в едином информационном пространстве. Ключевым этапом проектирования такой системы является разработка высокопроизводительного вычислителя.

1. Шипов И.А., Ветошкин Е.В. Комплексируемая навигация наземных робототехнических комплексов. // Сборник тезисов конференции «Экстремальная робототехника», г. Санкт-Петербург, 2020

*А.Ю. Исхаков, Р.В. Мещеряков, А.О. Исхакова*  
**МЕТОДЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА РТК**

*ИПУ РАН, Москва, iay@ipu.ru, mrv@ieee.org, iao@ipu.ru*

*A.Y. Iskhakov, R.V. Meshcheryakov, A.O. Iskhakova*  
**ROBOTICS OPERATOR AUTHENTICATION METHODS**

*ICS RAS, Moscow, iay@ipu.ru, mrv@ieee.org, iao@ipu.ru*

Робототехнические комплексы сегодня находят свое применение практически во всех сферах нашей жизни. При этом приоритетными направлениями в науке являются не только интеллектуализация решений и достижение автономности отдельных объектов робототехнических комплексов, но и обеспечение их информационной безопасности, поскольку несанкционированное вмешательство или утрата контроля над процессами функционирования различных систем и элементов может привести не только к материальным потерям на уровне государственных структур и отдельных граждан, но и к человеческим жертвам [1].

Анализ рисков безопасности, основанный на консолидации записей из баз данных Common Vulnerabilities and Exposures (CVE), банка данных угроз ФСТЭК России, бюллетеней Национального координационного центра по компьютерным инцидентам, позволяет сделать выводы о высоком уровне опасности множества зафиксированных уязвимостей, связанных с интерфейсами оператора программных комплексов различных робототехнических комплек-

сов. Зачастую эксплуатация подобных уязвимостей позволяет аутентифицированному злоумышленнику выполнять произвольный код с полными пользовательскими правами посредством отправки в интерфейс системы управления специально сформированных входных данных.

Проект направлен на решение научной проблемы отсутствия научно-обоснованных методических решений по организации безопасного управления робототехническим комплексом в аспекте защиты интерфейсов управления оператора. Проектом предусмотрено исследование применимости существующих методов и способов аутентификации оператора в робототехнических комплексах, разработка новых методов выявления инцидентов в трафике сервисных данных управления, а также развитие алгоритмического обеспечения риск-ориентированных процедур проверки легитимности действий оператора [2,3].

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-29-06044, совета по грантам Президента Российской Федерации в рамках научного проекта № МК-3172.2021.1.6.

1. Шумская О.О., Исакова А.О., Исаков А.Ю. Маскирование управляющих сигналов агентов в мобильных робототехнических группах в сетевом управлении / Сборник тезисов 30-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА» (Санкт-Петербург, 2019). СПб.: ООО «Издательско-полиграфический комплекс «Гангут», 2019. С. 303-306.

2. Исаков А.Ю. Адаптивные технологии аутентификации в UEBA-системах / Труды 13-го Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ XIII, Москва, 2019). М.: ИПУ РАН, 2019. С. 2550-2554.

3. Слипенчук Павел Владимирович Алгоритм извлечения характерных признаков из данных пользовательских активностей // Вопросы кибербезопасности. 2019. №1 (29).

***К.Ю. Сахаров, В.А. Туркин, О.В. Михеев, А.В. Сухов***  
**ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО  
ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНЫХ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт  
оптико-физических измерений», Москва, m12@vniiofi.ru

***K.Yu. Sakharov, V.A. Turkin, O.V. Mikheev, A.V. Sukhov***  
**THE ISSUES OF UNMANNED VEHICLES APPLICATION IN THE  
SETTING OF IMPULSE ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE**

*FSUE «All-Russian Scientific and Research Institute for Optophysical  
Measurements», Moscow, m12@vniiofi.ru*

Наземный беспилотный транспорт, предназначенный для передвижения по дорогам общего пользования совместно с другими транспортными средствами и пешеходами, должен надежно обеспечивать безопасность пассажиров и других участников дорожного движения. Импульсные электромагнитные излучения являются одним из видов внешних воздействий, эффективно нарушающих работу цифровых систем беспилотного транспорта: ЭВМ, радаров, лидаров, систем компьютерного зрения и так далее [1]. В случаях отсутствия оператора транспортного средства, который мог бы вмешаться и предотвратить аварию, такие воздействия могут привести к катастрофическим ситуациям и человеческим жертвам.

В мире принят ряд стандартов, задающих нормы устойчивости к импульсным электромагнитным помехам, а также средства и методы испытаний радиоэлектронного оборудования [1, 2]. Во ФГУП «ВНИИОФИ» создан макет испытательного излучателя сверхкоротких электромагнитных импульсов (рис. 1) и проведены исследования устойчивости коммерческих беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) к импульсным электромагнитным воздействиям.

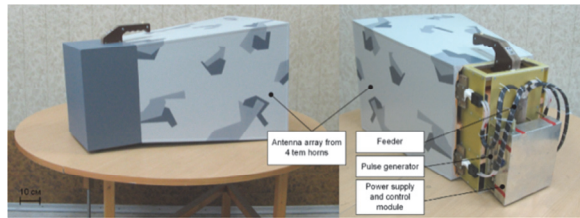


Рисунок 1 – Макет испытательного излучателя сверхкоротких электромагнитных импульсов

Излучатель воспроизводит сверхкороткие электромагнитные импульсы (СК ЭМИ) длительностью порядка 200 пс с показателем качества  $FOM = 100$  кВ (отношение амплитуды импульсов напря-

женности электрического поля к расстоянию до точки наблюдений в дальней зоне излучения).

Проведенные исследования позволили определить критериальные уровни устойчивости коммерческих БПЛА к импульсным электромагнитным излучениям. В частности, при амплитуде ЭМИ порядка 1,5 кВ/м БПЛА типа DJI Phantom 3 мгновенно терял работоспособность и падал на землю, для восстановления нормального функционирования системы (при отсутствии серьезных физических повреждений) требовалась ручная перезагрузка БПЛА, пульта и программы управления.

Для беспилотных автомобилей отсутствуют какие-либо сведения по испытаниям на устойчивость к воздействию электромагнитных импульсов. Однако, так как беспилотные автомобили имеют цифровые системы управления, то существует уверенность в их уязвимости к воздействию ЭМИ. Натурные испытания позволяют достоверно определить надежность и безаварийность работы создаваемых транспортных средств, а также разработать эффективные методы и средства защиты от СК ЭМИ.

Для решения данной задачи целесообразно разработать ряд модульных излучателей СК ЭМИ, позволяющих воспроизводить параметры нагружения для объектов с большой площадью поверхности. По сравнению с традиционной схемой пассивной многоэлементной антенной решетки, возбуждаемой одиночным мощным генератором импульсов, предлагаемый излучатель позволяет воспроизводить импульсы меньшей длительности с большей частотой повторения, решается проблема установки задержки возбуждения отдельных элементов за счет использования блока электронной синхронизации.

Таким образом, ФГУП «ВНИИОФИ» разработаны: нормы испытаний, методики, испытательное оборудование, средства измерений. Необходимо усилить заинтересованность разработчиков беспилотных транспортных систем к решению проблемы защиты от преднамеренных электромагнитных воздействий.

1. IEC 61000-4-36. IEMF immunity test methods for equipment and systems.

2. ГОСТ Р 52863-2007 Защита информации. Автоматизированные системы в защищённом исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие требования.

*Д.В. Бордюгов<sup>1</sup>, Е.С. Брискин<sup>1,2</sup>, Н.Г. Шаронов<sup>1,2</sup>*  
**ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ДВУОПОРНОГО РОБОТА  
С ПОДПРУЖИНЕННОЙ МАССОЙ**

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет, Волгоград;  
<sup>2</sup>Университет Иннополис, Иннополис, Республика Татарстан, *dtm@vstu.ru*

*D.V. Bordyugov<sup>1</sup>, E.S. Briskin<sup>1,2</sup>, N.G. Sharonov<sup>1,2</sup>*  
**THE MOTION DYNAMICS OF A TWO-LEGGED ROBOT  
WITH SPRING-LOADED MASS**

<sup>1</sup>Volgograd State Technical University, Volgograd; <sup>2</sup>Innopolis University,  
Innopolis, Republic of Tatarstan, *dtm@vstu.ru*

Рассматривается перемещение двухопорного робота, движущегося за счет подвижной массы [1], взаимодействующей с упругим элементом. Расчетная схема (рис. 1) представляет собой механическую систему, состоящую из двух невесомых опор  $A$  и  $B$  (1), соединенных стержнем 2, перемещающимся под действием колебаний груза 3 массой  $m$ , закрепленного на пружинах 4. Ось  $x$  совмещена со стержнем  $AB$ , с началом в точке  $C$ . В начальный момент времени задается скорость  $V_0$ .

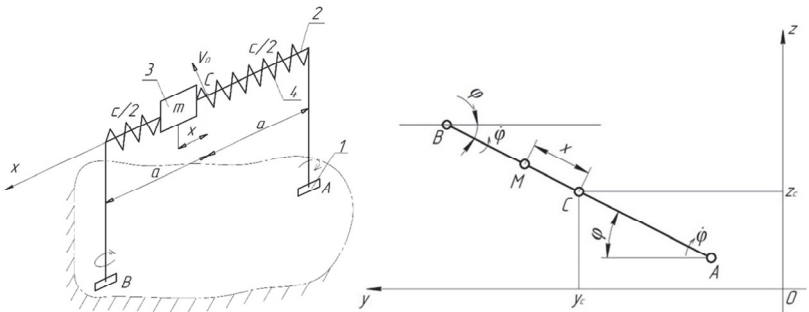
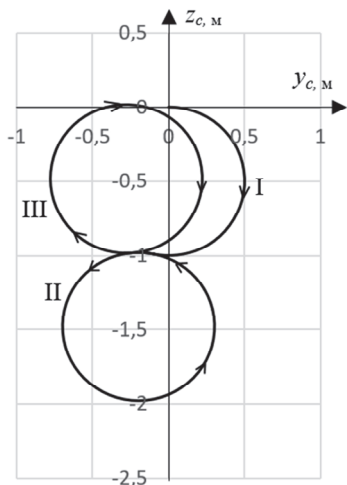


Рисунок 1 – Расчетная схема: 1 – опоры, 2 – стержень, 3 – груз, 4 – пружина

Перемещение осуществляется следующим образом: одна из опор взаимодействует с поверхностью и неподвижна, условием неподвижности является смещение груза относительно середины стержня  $AB$  к одной из опор, в этот момент происходит ее фиксация, в то время как другая находится в фазе переноса, позволяя стержню поворачиваться вокруг неподвижной опоры. Затем происходит смена опор, и робот изменяет направление вращения.



I – вращение по часовой стрелке,  
опора *A* – неподвижна;

II – вращение против часовой  
стрелки, опора *B* – неподвижна;

III – вращение по часовой  
стрелке, опора *A* – неподвижна;

Рисунок 2 – Траектория движения центра робота (точки *C*).

Приводятся результаты решения модельной задачи при заданных начальных условиях ( $x_0 = -0,49$  м;  $\varphi_0 = 0$  рад;  $V_0 = 0$  м/с;  $\omega_0 = 1$  рад/с) и конструктивных параметрах робота ( $m = 20$  кг,  $c = 1$  Н/м,  $a = 0,5$  м,  $J = 10$  кг·м<sup>2</sup>). Процесс движения (рис. 2) подобен движению «Кельтского камня» [2].

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-71-10069).

1. Наумов Н.Ю., Черноусько Ф.Л. Управление ориентацией твердого тела посредством внутренней подвижной массы // В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019. С. 306-310.

2. Журавлёв В.Ф., Климов Д.М. Глобальное движение кельтского камня // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2008. №3. С. 8-16.

**Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов**  
**ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИНЕЙНОГО**  
**ПЕРСПЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**  
**ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ**



## НАГРУЗКИ НА ОПЕРАТОРОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

*Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН, Москва,  
philepp@mail.ru, ermolov@ipmnet.ru*

*F.M. Belchenko, I.L. Ermolov*

## LINEAR PERSPECTIVE IMAGE TRANSFORMATION FOR RELIEF OF VISUAL STRESS FOR ROBOTS' OPERATORS

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

В работе исследуются методы повышения эффективности восприятия человеком-оператором передаваемого изображения от видеокамер в средствах телеметрии робототехнических комплексов. Изучены некоторые технические недостатки современных систем телеметрии робототехнических комплексов. Исследуются вопросы применения аффинных и перспективных преобразований передаваемых видеоизображений. Работа построена на использовании наработок из теории представления перцептивного пространства в средствах телеметрии космических аппаратов [1]. Целью работы является снижение процента ошибок операторов при управлении робототехническими комплексами, вызванных недоверностью или низким качеством передаваемого изображения. Описаны проводимые в настоящее время разработки.

В докладе предложен ряд решений по совершенствованию систем телеметрии РТК. Основная часть исследования связана с изучением влияния поступающей видеоинформации на эффективность работы оператора. Искажаемое изображение может оказывать различное влияние на пользователя системы телеметрии в различных ситуациях [2]. Следовательно, будет проводиться тестирование операторов на восприятие вносимых изменений в изображения.

В ходе исследования будут испытываться следующие сценарии применения различных целевых искажений, реализуемых как дополнительный функционал в системах телеметрии:

1. Открытая местность. Наблюдаемые объекты в ямах/окопах, за техникой, за мелкими конструкциями или вне укрытий.
2. Местность с плотной застройкой. Объекты за углами зданий, в окнах, на крышах.



Рисунок 1 – Исходное изображение

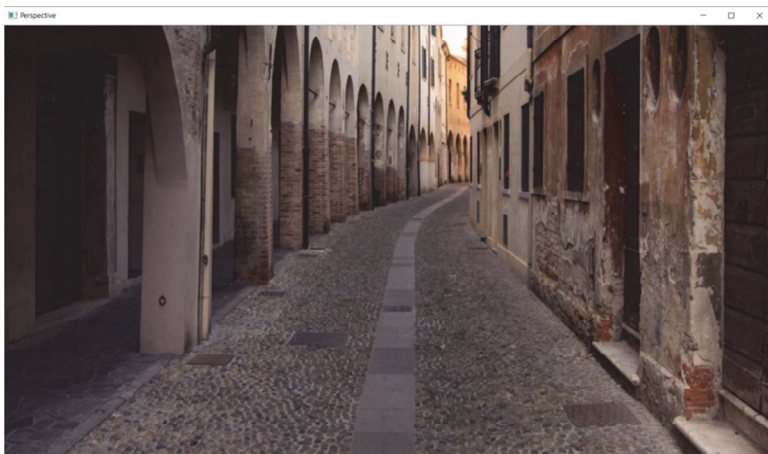


Рисунок 2 – Изображение после линейного перспективного преобразования

3. Лесной массив. Объекты за деревьями.
4. Скалистая/горная местность. Объекты за камнями, иногда за деревьями.
5. Помещения. Объекты за дверями и мебелью.
6. Тоннели/трубы. По итогам разработки системы и её испытаний будет приниматься решение по предложению внедрения ново-

го программного обеспечения потенциально заинтересованным организациям.

На базе лаборатории робототехники и мехатроники Института проблем механики им. А.Ю.Ишлинского в настоящее время разработан тестовый вариант программного обеспечения, вносящего целевые искажения, для систем телеметрии робототехнических комплексов.

Доклад представлен в рамках выполнения госзадания Минобрнауки РФ № АААА-А20-120011690138-6.

1. Раушенбах Б.В. Геометрия картины и зрительное восприятие. – СПб. Азбука-классика, 2002. – 320 с.

2. Бельченко Ф.М., Ермолов И.Л. Разработка концепции системы телеметрии РТК с возможностью внесения целевых искажений отображаемого пространства, Робототехника и техническая кибернетика. – Т. 9. - №1. – Санкт-Петербург : ЦНИИ РТК. – 2021. – С. 26-31.

***А.А. Галкин, П.В. Еркин, Л.Р. Боев, А.В. Тулуш***  
**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПАРАШЮТНО-ГРУЗОВОЙ ПЛАТФОРМОЙ НА БАЗЕ  
ИНЕРЦИАЛЬНОГО МЭМС-МОДУЛЯ**

*ООО Лаборатория Микроприборов, г. Зеленоград, alexgalkin.jr@gmail.com,  
pashaerkin@yandex.ru, tulush9710@yandex.ru, leo.boev@mail.ru*

***A.A. Galkin, P.V. Erkin, L.R. Boev, A.V. Tulush***  
**PRECISION AIRDROP SYSTEM BASED ON MEMS-IMU**

*Ltd Laboratory of microdevices, Zelenograd, alexgalkin.jr@gmail.com,  
pashaerkin@yandex.ru, tulush9710@yandex.ru, leo.boev@mail.ru*

Доставка грузов с помощью парашютирования имеет многолетнюю историю. В большинстве случаев в заданном квадрате парашютно-грузовая платформа (ПГП) сбрасывается с самолета и приземляется без управления. Однако в определенных ситуациях, например, при доставке грузов в районы со сложным рельефом местности, необходима посадка ПГП с точностью порядка 50-100 м [1]. С появлением ГНСС решение этой задачи стало возможным без использования специальных маяков в точке посадки. Для этого с

конца 90-х годов разрабатываются системы автоматического управления (САУ) ПГП [2].

Вариант компоновки такой системы представлен на рисунке 1.

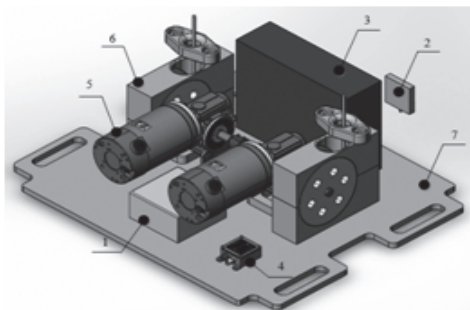


Рисунок 1 – Визуализация компоновки САУ ПГП: 1 – блок управления; 2 – навигационная антенна; 3 – блок питания; 4 – инерциальный модуль; 5 – сервоприводы; 6 – барабан; 7 – корпус

Несмотря на востребованность подобных систем, при анализе российского рынка было обнаружено лишь одно изделие такого типа - УПГС-4000, находящаяся на стадии испытаний. Данная система предназначена для доставки грузов массой от 3 до 4 тонн [3].

На мировом рынке существует ряд изделий различной грузоподъемности: Sherpa канадской компании MMIST, серия JPADS от Airoborne Systems, а также немецкая SLG Sys. Однако все эти изделия предназначены для военного сектора, поэтому не продаются свободно. Стоимость образца такой системы составляет порядка 30-40 тыс. \$ [2].

Таким образом, на гражданском российском рынке имеется ниша для изделий малой грузоподъемности. ООО «ЛМП» был разработан образец такой системы, рассчитанный на грузы массой до 240 кг.

Для оценки положения в пространстве используется инерциальный модуль ГКВ-6, основные вычисления производит микроконтроллер STM32F4, а управление катушкой строп происходит при помощи сервоприводов. Реализована также функция ручного контроля, который осуществляется через пульт ДУ (рис. 2).

Механизм автоматической посадки данной системы построен на базе навигационного алгоритма модуля ГКВ-6. После раскрытия парашюта, если нет связи с пультом ДУ, система переходит в режим «без управления», и ожидает решения навигационной задачи

встроенным алгоритмом ГКВ-6. В течение первых нескольких секунд полета модуль находит решение, а далее блок управления задает воздействия на приводы, выравнивая курс системы на заданную точку приземления.



Рисунок 2 – Функциональная схема САУ ППП

Идентификация раскрытия парашюта для выхода из режима ожидания возможна двумя способами: механической расчеховкой парашюта и САУ ППП при раскрытии или же срабатыванием МЭМС-датчика удара КМГ, также разработанного ООО «ЛМП».

Система успешно прошла наземное имитационное тестирование в режиме ручного и автоматического управления. В настоящий момент САУ ППП проходит полевые испытания в ООО «Пара-Авис».

1. Прокофьев С., «Американская парашютная система «Оникс» [Текст] / С. Прокофьев. - Зарубежное военное обозрение №5 2007, с. 46.
2. Прокофьев С., «Зарубежные парашютные системы для десантирования грузов» [Текст]. - Режим доступа: <https://invoen.ru/vvt/zarubezhnie-parashutnie-sistemi-desantirovanie-gruzov/> (дата обращения 12.05.2021)
3. Найманбаева К., «Технодинамика» создаст управляемую парашютно-грузовую систему для Ил-76» [Текст]. - Режим доступа: <https://www.aviaport.ru/news/2018/04/12/539379.html> (дата обращения: 12.05.2021).

***В.В. Пузиков, Н.А. Соломкина***  
**АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ БЕСПИЛОТНИКОВ ЗА СЧЕТ  
КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ И  
НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ**

*ООО «Лаборатория Микроприборов», г. Зеленоград, vp@mp-lab.ru,  
nsolomkina@mp-lab.ru*

***V.V. Puzikov, N.A. Solomkina***  
**AUTONOMOUS NAVIGATION OF UNMANNED SYSTEMS BY  
COMPLEXATION INERTIAL AND NAVIGATION OUTPUT  
DATA**

*Ltd Laboratory of microdevices, Zelenograd, vp@mp-lab.ru,  
nsolomkina@mp-lab.ru*

Автономная навигация – перспективное направление в области разработки беспилотного транспорта и мобильных роботов, которое заключается в вычислении траектории за счет данных, полученных от датчиков первичной информации: камер, лидаров, радаров, инерциальных навигационных модулей и др., - позволяющих определять позиционирование подвижных систем в реальном времени [1, 2].

Навигация и ориентация чаще всего определяются с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). В то же время, не всегда данные от спутника могут быть получены из-за условий окружающей среды. Для решения этой проблемы и поддержания автономной работы беспилотников используют комплексирование инерциальных и навигационных параметров в движении [3].

Рассмотрим применение данного метода при движении беспилотного автомобиля на основе инерциальной навигационной системы (ИНС) ГКВ-12. Инерциальный модуль состоит из триады МЭМС-датчиков угловой скорости, триады МЭМС-акселерометров, высокопроизводительного вычислителя и двух приемников ГНСС. ИНС вычисляет ориентацию с высокой точностью по инерциальным и навигационным данным. Чем стабильнее и точнее установленные на беспилотник инерциальные датчики, тем дольше навигационное решение сохраняется без коррекции от спутника. Это позволяет вычислять траекторию автомобиля в случае пропадания ГНСС-сигнала: проезд под мостом и в тоннеле, проезд в области плотной застройки и в иных случаях. Наличие двух ГНСС-приемников обеспечивает определение курса в статическом положении, это позволяет беспилотнику построить траекторию движения с момента его включения [4].

На рисунке 1 показана траектории движения автомобиля рассчитанные с помощью ГНСС, с помощью автономной ИНС, и ИНС с учетом ограничений поведенческой модели автомобиля. Видно, что при пропадании сигнала со спутников (в тоннеле), навигационное решение от ГНСС становится недостоверным, траектория разбивается, две другие траектории остаются цельными.



Рисунок 1 – Проезд под тоннелем [4]

Алгоритмы комплексирования инерциальных и навигационных данных позволяют при пропадании спутникового сигнала удерживать траекторию беспилотника некоторое время, в течение которого возможно повторно подключиться к ГНСС. Увеличение точности инерциальных датчиков и наличие внешних корректоров позволяет увеличивать время автономной работы, - это и является задачей современной инерциальной навигации. В докладе излагаются практические наработки и результаты, полученные в области инерциальных измерительных модулей, коллективом Лаборатории Микроприборов.

1. Kolar P., Survey of Datafusion Techniques for Laser and Vision Based Sensor Integration for Autonomous Navigation [Текст] / P. Kolar, P. Benavidez, M. Jamshidi // Sensors. - 2020, - 20(8), 2180. - Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/8/2180> (дата обращения: 11.05.2021).

2. Matveev A., Safe Robot Navigation Among Moving and Steady Obstacles [Текст] / A. Matveev, A. Savkin, Chao Wang. - Butterworth-Heinemann, 2016. - 344 p.

3. Grewal M., Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration [Текст]. 4th Edition / M. Grewal, A. Andrews, C. Bartone. - Wiley, 2020. - 608 p.

4. Михеев А., ЛАБОРАТОРИЯ МИКРОПРИБОРОВ -  
РАЗРАБОТКА ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ  
БЕСПИЛОТНИКОВ [Текст]. - Режим доступа:  
<https://bespilot.com/news/991-mp-lab> (дата обращения: 11.05.2021).

***Г.Д. Демин, А.Г. Буздаков, К.А. Звездин, Н.А. Дюзhev***  
**СПИН-ДИОДНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ  
ДЛЯ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ НАЗЕМНЫХ РОБОТОВ**

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва,  
demin@ckp-miet.ru*

***G.D. Demin, A.G. Buzdakov, K.A. Zvezdin, N.A. Djuzhev***  
**SPIN-DIODE-BASED MACHINE VISION SYSTEM FOR  
AUTONOMOUS GROUND ROBOT NAVIGATION**

*National Research University of Electronic Technology (MIET), Moscow,  
demin@ckp-miet.ru*

В настоящее время большое внимание исследователей уделяется разработке и поиску новых решений в области реализации систем машинного зрения для беспилотного управления и навигации наземных роботов (дистанционно-управляемых машин, беспилотных разведчиков, мобильных вездеходов и проч.). Одной из ключевых задач в этом направлении является обеспечение высокой точности детектирования и безошибочного обнаруживания объектов в условиях плохой видимости (слабое освещение, туман, сильные осадки), а также при наличии скрытых препятствий в «слепой» зоне. Используемые в большинстве наземных робототехнических аппаратов дальномеры оптического диапазона (LIDAR) эффективно работают практически в любой среде, однако являются дорогостоящими и требуют большого количества времени для картирования пространства в пределах перемещения, что критично при необходимости быстрого маневрирования в случае возникновения нештатных ситуаций на пути движения. В то же время, в связи с высоким уровнем помех и невозможностью полного сканирования объекта, возможности LIDAR ограничены измерением дальности до его поверхности в зоне прямой видимости, что серьезно ухудшает точность детектирования.

Одной из перспективных технологий, призванной преодолеть указанные ограничения, является технология машинного зрения на основе спиновых диодов [1]. Спиновый диод - магнитный туннель-



ный переход (МТП), демонстрирующий эффект выпрямления напряжения при протекании через его структуру переменного тока в СВЧ диапазоне. Благодаря данному эффекту, спиновые диоды могут работать в широкой области рабочих частот от 0.1 МГц до 9 ГГц и обладают чувствительностью от 0.1 МГц до 210 мВ/мкВт и выше [2, 3], что на порядки превышает чувствительность диодов Шоттки при близком уровне эквивалентного входного шума. Ранее показана применимость спиновых диодов для обнаружения скрытых объектов на основе техники микроволновой голографии [4]. Другое преимущество системы детектирования на основе спиновых диодов – ее всепогодность.

В настоящей работе предлагается спинтронная система машинного зрения с динамическим методом регистрации объектов на базе алгоритма, обеспечивающего трехмерную реконструкцию рассеивающей плотности и дающего возможность классификации и распознавания препятствий при учете их геометрических и физических параметров. Проведена экспериментальная демонстрация работы данной системы на примере макета, состоящего из одного микроволнового антенного излучателя, нескольких приемных антенн и блока обработки принимаемого сигнала, в который интегрирована функциональная схема со спиновым диодом (рис. 1).

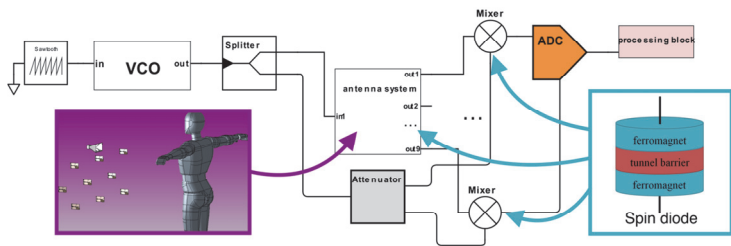


Рисунок 1 – Схема спин-диодной системы технического зрения

С целью оптимизации спинтронной системы машинного зрения разработана CAD модель микроволнового детектирования с применением спин-диодных структур на основе МТП. Зафиксировано смещение по частоте регистрируемого сигнала на спиновом диоде при изменении положения объекта в случае его облучения рупорной антенной, и проанализировано изменение точности его детектирования в СВЧ диапазоне частот. Полученные результаты показывают эффективность предлагаемой спин-диодной системы технического зрения для выполнения задач ближнепольного и дальнепольного зондирования препятствий и беспилотного управления

наземными роботами [5]. Работа выполнена в ООО «Ай-Арт» при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (договор №349ГР/64873 от 24.12.2020 (код 0064873)) с использованием оборудования ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ.

1. G. Finocchio et al., Appl. Phys. Lett. 118, 160502 (2021).
2. A.F. Popkov, N.E. Kulagin, G.D. Demin, Solid State Commun. 248, 140 (2016).
3. L. Zhang et al., Appl. Phys. Lett. 113(10), 102401 (2018).
4. L. Fu et al., J. Appl. Phys. 117(21), 213902 (2015).
5. A. Madridano et al., Expert Syst. Appl. 173, 114660 (2021).

***В.Н. Ложкин***

**ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОГО  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА  
НА НАСЕЛЕНИЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России», Санкт-Петербург, vnlogkin@yandex.ru*

***V.N. Lozhkin***

**IMPLEMENTATION OF DIGITAL INFORMATION  
TECHNOLOGIES FOR CONTROL OF EMERGENCY  
ENVIRONMENTAL IMPACT OF MOTOR TRANSPORT  
ON THE POPULATION OF ST. PETERSBURG**

*St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM, St. Petersburg,  
vnlogkin@yandex.ru*

Экологические проблемы Санкт-Петербурга репрезентативны крупным городам Мира. Они на 80 % связаны с поллютантами автотранспорта [1]. В мегаполисе с 1995 года действует система инструментального онлайн-контроля и расчетного прогнозирования (мониторинга) качества воздушной среды. Научно-методическое обеспечение информационного процесса мониторинга непрерывно совершенствуется [2].

До 2018 года подсчет интенсивности движения транспорта исполнялся «статистами», был трудоемок и неточен. В докладе обосновывается интеллектуальная техническая система, основанная на

данных измерений структуры потоков автоматическими датчиками. Датчики установлены на городской улично-дорожной сети. Генерируемая первичная цифровая информация интегрируется и преобразуется расчетом по адекватным моделям [1, 2] в информационные ГИС-карты загрязнения воздуха в долях ПДК<sub>мр</sub>.

На основе серии измерений за 2016-2018 годы, выполненных на 87 участках автомагистралей Санкт-Петербурга, были выявлены закономерности суточной интенсивности движения и предложена уточненная типизация городских автодорог.

Оригинальная цифровая информационная технология контроля качества воздушной среды, в форме официальной методики, внедрена на региональном уровне и применяется в управленческой природоохранной деятельности.

1. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models. Transportation research part D-transportation and environment. 2015. No.36. Pp. 178-189. DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.013.

2. Lozhkin V. N., Lozhkina O. V., Seliverstov S. A., Kripak M. N. Forecasting of dangerous air pollution by cruise ships and motor vehicles in the areas of their joint influence in Sevastopol, Vladivostok and St. Petersburg / Water and Ecology, 2020. № 1 (81), S. 38-48. Doi: 10.23968/2305-3488.2020.25.1.38-50.

***М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, Д.Ю. Петров, О.М. Степанова***  
**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**  
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**  
**РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ**  
**КОМПЛЕКСОМ**

*Саратовский государственный технический университет  
имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов, mfstepanov@mail.ru*

***М.Ф. Stepanov, A.M. Stepanov, L. Yu. Petrov, O.M. Stepanova***  
**ALGORITHMS RESEARCH OF INTELLECTUAL CONTROL**  
**SYSTEM OF ROBOTIC PROSPECTING COMPLEX**

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, mfstepanov@mail.ru*

Разведывательные мероприятия, направленные на обнаружение, например, опасных или вредных предметов или веществ обычно сопряжены с необходимостью работы в экстремальных условиях

повышенной температуры, влажности, пересеченной местности и т.д. Очевидно, что наилучшим образом с задачей разведки справляются подготовленные люди, способные действовать «по обстановке», применяя наиболее эффективные методы и приёмы обнаружения различных предметов. Однако, условия выполнения разведывательных действий являются опасными для человека. Современное состояние развития самодействующих автономных устройств позволяет создавать роботов-разведчиков. Но их возможности, в основном, ограничиваются визуальным наблюдением под контролем человека-оператора. Однако при этом существенно возрастают сроки и материальные затраты на проведение разведки.

В связи с этим актуальными являются исследования в направлении создания систем управления, обеспечивающих достижение поставленных целей при отсутствии достоверной априорной информации о внешней обстановке и интенсивности её изменения.

Необходимость осуществления разведывательных действий в условиях ограниченного времени требует применения группы разведывательных роботов. При этом возникает проблема координации действий роботов группы для оптимального решения задачи разведки [1], [2]. Среди частных критериев оптимальности, применимых к решаемой задаче выделяются: минимизация времени решения задачи; минимизация затрачиваемых ресурсов. При этом под затрачиваемыми ресурсами понимается количество применяемых роботов-разведчиков, объём вспомогательных ресурсов (расходные материалы, вспомогательные транспортные средства, обслуживающий персонал).

Разработан экспериментальный исследовательский образец робота-разведчика. Для проведения исследований робот-разведчик снабжён металлоискателем и газоанализатором, средствами технического зрения, навигации и ориентации.

Для исследования алгоритмов управления роботами-разведчиками разработано программное средство GroupPlanning. Предоставляются возможности задания параметров критериев эффективности, как частных, так и обобщенного. Предусмотрены возможности сопровождения процесса моделирования проведения разведки визуализацией движения роботов-разведчиков и результатов обнаружения опасных предметов (условное название «мины»). В процессе моделирования вычисляются значения критериев эффективности, что позволяет проводить сравнение различных методов планирования траекторий роботов-разведчиков в зависимости от конфигурации местности, используемых материальных ресурсов

(количества роботов-разведчиков). На рис. 1, 2 представлены экранные формы процесса моделирования с включенной визуализацией и рассчитанными значениями критериев эффективности.

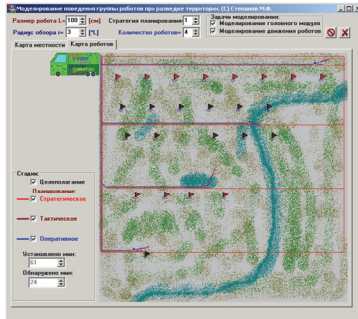


Рисунок 1 – Визуализация процесса разведки местности

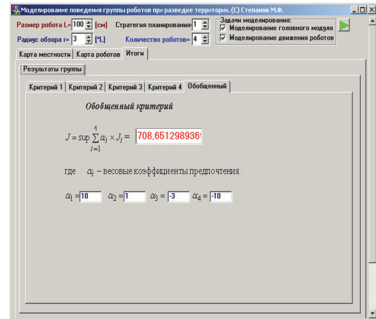


Рисунок 2 – Значения критериев эффективности

1. Каляев И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. – М.: Физматлит, 2009.

2. Степанов М.Ф. Построение системы управления группой мобильных роботов на основе интеллектуальных самоорганизующихся систем управления / А.М.Степанов, М.Ф.Степанов // Интеллектуальные системы: Труды Десятого международного симпозиума.- М.: РУСАКИ, 2012.- С. 449 – 452.

**М.А. Головин**

## **МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ**

*ФГАОУ ВО СПбПУ, Санкт-Петербург, muxagolovin@gmail.com*

**M.A. Golovin**

## **MECHATRONIC PLATFORM STABILIZATION SYSTEM WITH ENERGY RECUPERATION**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg,  
muxagolovin@gmail.com*

В ходе исследования был разработан математический аппарат системы стабилизации и системы уравнивания [14]. Скон-

струирован макет для проверки и подтверждения теоретических расчетов. Разработана система управления со стабилизацией в двух плоскостях.

Мобильность лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) в XXI веке является острой проблемой в условиях возрастающей урбанизации. Используемые кресла-коляски могут иметь электроприводы колес, источник энергии, преобразователь мощности, микроконтроллер, устройство ввода, мотор и редуктор. Такие коляски предназначены для перемещения не только в помещении, но и на улице, поэтому важно, чтобы кресло-коляска имела удобную и надежную систему управления.

Для повышения комфорта при движении на колесном транспортном средстве по неровной поверхности предложены различные технические решения. Однако, только небольшое количество электрических инвалидных колясок пригодно для полноценного самостоятельного использования инвалидами в городской среде, в частности – из-за отсутствия систем очувствления. Большинство инвалидных колясок подходят только для перемещения по поверхностям с малыми углами въезда и съезда – до 10.

В настоящее время не существует инвалидных кресел-колясок (ИКК), которые предназначены для самостоятельного движения на эскалаторах – распространенном способе решения проблемы мобильности в ограниченном городском пространстве. Синтез робота на базе мехатронных принципов проектирования для решения подобной проблемы представляется актуальной задачей. При этом расширение возможностей робота происходит за счет применения в конструкции рекуперативных пружинных аккумуляторов [1-3].

Математическая модель робота построена в ПО Matlab, Mathworks, США, с использованием принципов теории автоматического управления. В макете использованы приводы постоянного тока и сенсоры обратной связи: акселерометры, датчики расстояния.

В ходе исследования предложена конструкция робота с опорой на 4 ноги в виде мехатронных модулей стабилизации. Каждый модуль осуществляет поступательное движение колеса с мотором. Независимая работа модулей позволяет отрабатывать неровности рельефа. Рекуперация энергии достигается за счет использования цилиндрических пружин сжатия, собранных в виде пружинных аккумуляторов с поршнем и настроенных на необходимый диапазон поступательного перемещения исполнительного устройства – колеса с приводом. Мощность пружин подбирается исходя из полезной нагрузки робота

с учетом зависимости массогабаритных характеристик используемых узлов от задаваемой полезной нагрузки.

1. Жавнер В.Л., Мацко О.Н. Пружинные приводы с рекуперацией энергии для возвратно-поступательных перемещений / Современное машиностроение. наука и образование. СПб, 2016, 5. СТР.: 645-653.

2. Жавнер В.Л., Мацко О.Н. Пружинные приводы для возвратно-поступательных перемещений / Проблемы машиностроения и надежности машин. СПб, 2016, 1. СТР.: 3-7.

3. Жавнер В.Л., Мацко О.Н. Пружинные приводы с уравниванием для горизонтальных возвратно-поступательных перемещений / Вестник научно-технического развития. СПб., 2016, 5 (105). СТР.: 12-17

*В.П. Андреев, В.Л. Ким, Ю.Е. Луцкекин*  
**РАЗРАБОТКА СУБМОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
БЕСКОЛЛЕКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО  
ТОКА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА**

*ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»»; МИНОТ РГТУ, Москва,  
andreevvipa@yandex.ru, top7733@gmail.com, eternalmuerto@gmail.com*

*V.P. Andreev, V.L. Kim, Y.E. Lushchekin*  
**DEVELOPMENT OF BRUSHLESS DC MOTOR CONTROL  
SUBMODULE FOR MOBILE ROBOT**

*MSTU «STANKIN»»; IINET RSUH, Moscow,  
andreevvipa@yandex.ru, top7733@gmail.com, eternalmuerto@gmail.com*

В данной работе рассмотрен процесс разработки субмодуля управления бесколлекторным двигателем постоянного тока в составе полнофункционального транспортного модуля гетерогенного мобильного робота с иерархической архитектурой системы управления. Использование такой архитектуры позволяет распределить вычислительную нагрузку между модулями робототехнической системы и тем самым решить проблему реального времени [1]. Конструкция как самого транспортного модуля, так и всех субмодулей, входящих в его состав, должна удовлетворять требованиям, определяемым принципом полной функциональности – субмодуль должен обладать всеми механическими, электронными, информационными и программными компонентами, необходимыми для

самостоятельного исполнения субмодулем его функционального назначения [2]. Использование субмодулей с такими свойствами в составе модулей позволяет упростить процесс ремонта, сводя его к замене вышедшего из строя узла, а также облегчает процесс реконфигурации робота, в том числе непосредственно во время работы. В статье формулированы требования к субмодулю, определяемые принципом полной функциональности, описана функциональная схема субмодуля, приведена его математическая модель для симуляции его работы в составе гетерогенного мобильного робота. Работоспособность математической модели подтверждена экспериментально на лабораторном макете субмодуля управления бесколлекторным двигателем постоянного тока.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ по гранту 19-07-00892а.

1. Andreev V.P. The Concept of Using the Theory of Multi-Agent Systems to Design Control Systems for Mobile Robots with Modular Architecture / Proceedings of the International Scientific and Technological Conference EXTREME ROBOTICS. – SaintPetersburg: ООО «Izdatel'sko-poligraficheskii kompleks «Gangut» Publ., 2019. – P.524-534.

2. Андреев В.П. Принцип полной функциональности модулей в гетерогенных модульных мобильных роботах / Андреев В.П., Ким В.Л., Плетенев П.Ф. // Экстремальная робототехника (ЭР-2017). Труды международной научно-технической конференции. – С-Петербург: ИПЦ ООО «Политехника-принт», 2017. – С.81–91.

*А.Н. Афонин, А.А. Шамраев, Д.А. Веселов*

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕРВИСНОГО РОБОТА-  
МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ  
ПАРАЛИЗОВАННЫХ ИНВАЛИДОВ**

*НИУ «БелГУ», г. Белгород, afonin@bsu.edu.ru*

*A.N. Afonin, A.A. Shamraev, D.A. Veselov*

**SOFTWARE FOR SERVICE ROBOTIC ARM FOR THE  
REHABILITATION OF PARALYZED DISABLED PEOPLE**

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod  
National Research University», afonin@bsu.edu.ru*

Наиболее эффективным способом повышения качества жизни полностью парализованных инвалидов на сегодняшний день явля-



ется применение роботов-манипуляторов, с помощью которых они смогут самостоятельно обслуживать свои потребности.

В НИУ «БелГУ» разработан и изготовлен сервисный робот-манипулятор с управлением с помощью айтрекера и fNIRS-томографа. Айтрекер обеспечивает управление перемещением схвата манипулятора с помощью движений глазного яблока. fNIRS-томограф оценивает активацию зон коры головного мозга на основе определения концентрации в них гемоглобина. Распознавая мысленно представляемые нажатия рукой на кнопки, fNIRS-томограф позволяет отдавать команды на переключение плоскостей перемещения схвата манипулятора, сжатие-разжатие схвата и т.д. без перемещения глазных яблок, т.е. при фиксированном положении схвата.

С использованием стационарного айтрекера Tobii Eye Tracker 4С проведен эксперимент по имитации управления движениями глаз манипулятором, включающий в себя перемещение схвата в одной плоскости по прямолинейной и криволинейной траектории. Установлено, что отклонение направления взгляда при перемещении его по прямолинейной траектории достигают 20%, а по круговой до 70%. При обучении испытуемого отклонение можно снизить до 10 и 40% соответственно. В связи с этим сделан вывод о целесообразности применения линейной интерполяции при программировании движения схвата манипулятора.

Методами теоретической механики разработана математическая модель, определяющая взаимосвязь между управляющими движениями глаз и соответствующими им перемещениями схвата манипулятора с ангулярной системой координат. Модель обеспечивает возможность рассчитывать углы поворота звеньев и перемещения схвата манипулятора в вертикальной и горизонтальной плоскостях с учетом требований к точности перемещений схвата. Полученная модель позволяет исключить влияние спонтанных колебаний глазного яблока на точность и плавность перемещений схвата манипулятора.

С помощью методов нейросетевого анализа разработана нейросетевая модель на базе архитектуры RNN типа LSTM для анализа гемодинамической активности мозга на основе данных, полученных с помощью fNIRS-томографа, позволяющая осуществлять классификацию паттернов движений с учетом памяти об изменении временного ряда во времени. Погрешность распознавания паттернов движений кистей рук составила не более 5%. Разработанная нейросетевая модель впервые позволяет распознавать пат-

терны мысленно представляемых движений верхних и нижних конечностей в качестве дополнительных команд для робота-манипулятора.

На основе полученных математических моделей разработано программное обеспечение для управления сервисный роботом-манипулятором для реабилитации парализованных инвалидов. Интерфейс данного программного обеспечения состоит из двух симметричных половин, в которых осуществляется управление перемещением манипулятором в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Положение манипулятора в соответствующих плоскостях отображается в отдельных окнах, где ведется трансляция изображения с двух расположенных перпендикулярно веб-камер. Для того, чтобы переместить манипулятор в заданном направлении, пользователь должен навести взгляд на нужную кнопку под соответствующим окном с изображением манипулятора. Быстрый перевод взгляда с кнопки на кнопку не вызывает движения манипулятора. Команды на сжатие-разжатие схвата могут отдаваться как с помощью перемещения взгляда на соответствующие графические кнопки, так и с помощью распознаваемых fNIRS-томографом мысленно представляемых нажатий на эти кнопки руками. На разработанное программное обеспечение получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613767 от 15.03.2021. Интерфейс программы представлен на рисунке 1.

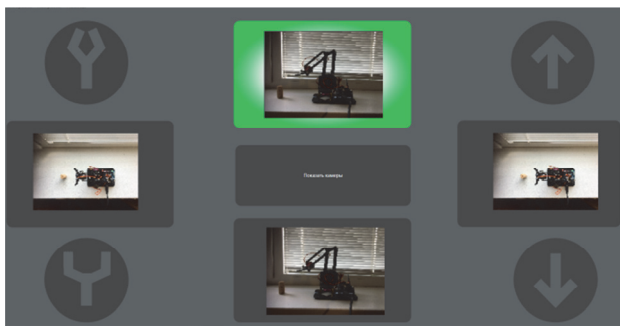


Рисунок 1 – Интерфейс программы

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-01178.

*Ю.С. Павлова, А.Ю. Алейников, Л.А. Камышникова,  
С.А. Рачинский, Ю.Г. Худасова*

**КОЛЛАБОРАТИВНАЯ МЕДИЦИНСКАЯ  
РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕАБИЛИТАЦИИ  
ВЕРХНИХ КОННЕЧНОСТЕЙ НЕТРАВМАТИЧЕСКОГО  
ГЕНЕЗА**

*ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ», Белгород, aleinikov@bsu.edu.ru*

*Yu.S. Pavlova, A.Yu. Aleynikov, L.A. Kamishnikova,  
S.A. Rachinsky, Yu.G. Khudasova*

**COLLABORATIVE MEDICAL ROBOTIC SYSTEM FOR  
REHABILITATION OF UPPER CONNEXIONS OF NON-  
TRAUMATIC GENESIS**

*FSAEI HE NRU «BelSU», Belgorod, aleinikov@bsu.edu.ru*

Реабилитация пациентов с парезами верхних конечностей, с использованием роботизированных систем, является перспективным и важным направлением в связи с возможностью увеличения степени вовлеченности последних в длительный процесс восстановления центральной нервной системы, с одной стороны, и возможность нивелирования деградации мышечного аппарата, при отсутствии управляемой двигательной активности, с другой. [1]. При этом, в связи с комплексным изменением состояния пациента, сопровождающимся ухудшением его когнитивных способностей, имеет место быть несогласованность реабилитационных процедур с его текущим состоянием, которое еще и постоянно меняется, ввиду ряда медицинских факторов.

Эффективным способом реабилитации является коллаборативный, в терминах медицины, подход [2], в рамках которого настраивается взаимодействие между пациентом, врачебным персоналом и семьей пострадавшего, направленное на развитие его способностей с целью возвращения к исходному состоянию.

В работе предложен подход и технические решения по внедрению в реабилитационный процесс, и дальнейшему развитию идеи многосторонней коллаборации (рис. 1) между пациентом, врачом и реабилитационным устройством, выполняющим многократно повторяющиеся механотерапевтические процедуры, с учетом обратной связи, как со стороны верхней конечности с парезом, так и со стороны рабочей верхней конечности, подобно коллаборативной робототехнике [3,4].

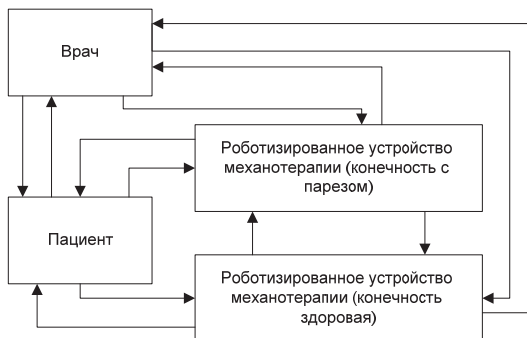


Рисунок 1 – Роботизированная коллаборативная система реабилитации верхней конечности

1. Ушаков Д.И., Камышникова Л.А., Алейников А.Ю., Павлова Ю.С., Рачинский С.А., Худасова О.Г. Аппаратно-программные технологии в реабилитации постинсультных больных // Научный результат. Информационные технологии. 2021. Т.6, No1: 3-12

2. R.Fawcus. Stroke rehabilitation. A collaborative approach. Library of congress.2003. 226 p.

3. Andrey Ronzhin, Gerhard Rigoll, Roman Meshcheryakov (Eds.). Interactive collaborative robotics. 5th International Conference, ICR 2020 St Petersburg, Russia, October 7–9, 2020. Proceedings. Springer Nature Switzerland AG 2020, 343p.

4. Peter Matthews. Automation and Collaborative Robotics: A Guide to the Future of Work. Appress, 2020., 285 p.

**А.А. Стрижакова, С.И. Стеблянко, В.В. Усиков, Д.И. Ушаков**  
**РОБОТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ**  
**ДЕЗИНФЕКЦИИ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ», Белгород, nastia.strizhakov@yandex.ru*

**А.А. Strizhakova, S.I. Steblyanko, V.V. Usikov, D.I. Ushakov**  
**ROBOTIC DISINFECTON DEVICE FOR MEDICAL**  
**EQUIPMENT**

*FSAEI HE NRU «BelSU», Belgorod, nastia.strizhakov@yandex.ru*

Роботизированное устройство комплексной дезинфекции рабочей поверхности медицинского оборудования относится к устрой-

ствам сервисной робототехники, в частности к устройствам роботизированной комплексной дезинфекции поверхностей, исключая прямое участие человека в процессе.

Задачей предлагаемого технического решения является расширение арсенала автоматических технических устройств дезинфекции [1,2] и увеличение эффективности их работы, наряду с уменьшением отрицательного влияния на человека.

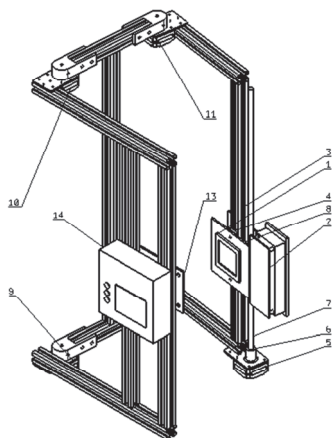


Рисунок 1 – Состав роботизированной установки



Рисунок 2 – Макет роботизированной установки для дезинфекции

В устройстве используется совместно обработка целевой зоны УФ излучением посредством полупроводникового излучающего устройства и озоном, полученным с использованием генератора озона. В установке осуществляется перемещение, подвод и сканирование рабочей зоны по всей плоскости целевой зоны медицинского оборудования, а также автоматическая парковка рабочих механизмов после окончания процесса комплексной дезинфекции целевой зоны медицинского оборудования.

Основой конструкции является совмещенная система комплексной дезинфекции, состоящая из мощного полупроводникового УФ облучателя (светодиода) (1), работающего в паре с генератором озона (2). УФ облучатель (1) и генератор озона (2) крепятся на раму (3) с использованием подвижных соединительных элементов (4). Перемещение УФ облучателя (светодиода) (1) и генератора озона (2) в вертикальной плоскости осуществляется посредством привода (5), крутящий момент с которого передается через муфту (6), со-

единенную с ходовым винтом (7) и ходовой гайкой (8). Для обеспечения перемещения УФ облучателя (светодиода) (1) и генератора озона (2) в горизонтальной плоскости используются работающие в паре приводы (9) и (10), (11) и (12). Крепление к медицинскому оборудованию осуществляется посредством соединительного элемента (13). Управление всеми элементами осуществляется посредством контроллера (14).

Макет роботизированной установки представлен на рисунке 2.

Система управления выполнена на основе микроконтроллера Atmega32. [3] При разработке программного обеспечения для микроконтроллера были использованы фрагменты ЧПУ системы GRBL. В качестве приводов использованы двигатели Nema17.

Работа выполнена в рамках программы «Умник» при поддержке фонда Бортника.

1. Чубенко Г.И., Туркутюков В.Б. Владивосток : Медицина ДВ, 2014 - 165 с.

2. Осипова В.Л. Дезинфекция : учебное пособие для студентов медицинских училищ и колледжей. ГЭОТАР-Медиа, 2009.- 136с., ил.

3. Техническое описание на микроконтроллер Atmega32. 2503Q-AVR-02/11, 346с.

*Ю.С. Павлова, О.Г. Худасова, Л.А. Камышникова,  
К.Х. Давлетчури*

### **РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИМУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

*ФГАОУ ВО Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, hudasova\_og@bsu.edu.ru*

*Yu.S. Pavlova, O.G. Hudasova, L.A. Kamishnikova,  
K.H. Davletchurin*

### **DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF THE RESPIRATORY SYSTEM FOR A MEDICAL ROBOTIC SIMULATION MODEL**

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University, Belgorod, hudasova\_og@bsu.edu.ru*

Симуляционная модель дыхательной системы с функцией подогрева для обеспечения возможности термометрической регистрации дыхательных циклов относится к медицинским симуляцион-

ным системам, применяемым как отдельно, так и в составе симуляционных комплексов для демонстрации функционирования биологических закономерностей, измерения параметров функционирования и отработки оперативных вмешательств.

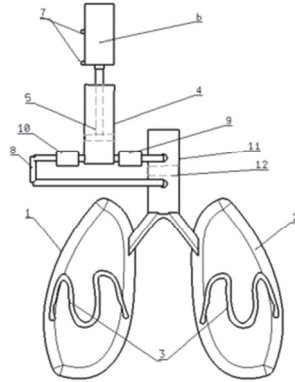


Рисунок 1 - Структура аппаратно-программной модели

Структура симуляционной модели представлена на рисунке (см. рис.1). Содержит модель левого полого лёгкого (1) и модель полого правого лёгкого (2), снабженные нагревательным элементом (3), реверсивную систему откачки воздуха, включающую насос (4) с поршнем (5), линейный привод (6) с двумя концевыми датчиками (7) крайних положений поршня, трубку (8) и расположенные на ней электромагнитный клапан (9) и электромагнитный клапан (10), трубку (11), имитирующую трахею с перегородкой (12), термодатчик (3).

В процессе симуляции дыхательного цикла осуществляется подогрев воздуха, поступающего в модель левого полого лёгкого (1) и в модель правого полого лёгкого (2), посредством нагревательных элементов (3), питаемых от внешнего блока питания. Для реализации фазы вдоха охлажденного воздуха из внешней среды через трахею (11) с перегородкой (12) через трубку (8) осуществляется накачка воздуха в модель левого полого лёгкого (1) и в модель правого полого лёгкого (2) посредством периодического возвратно-поступательного перемещения поршня (5) в насосе (4), приводимого в движение линейным приводом (6), с одновременным контролем положения поршня (5) посредством концевых датчиков (7) и периодическим открыванием электромагнитного клапана (9) и закрытием электромагнитного клапана (10) на этапе движения порш-

ня (5) в насосе (4) снизу вверх и закрытием электромагнитного клапана (9) и открытием электромагнитного клапана (10) на этапе движения поршня (5) в насосе (4) сверху вниз.

Для реализации фазы выдоха подогретого воздуха из дыхательной системы осуществляется выкачка воздуха из модели левого полового лёгкого (1) и модели правого полового лёгкого (2) во внешнюю среду через трахею (11) с перегородкой (12) через трубку (8) посредством периодического возвратно-поступательного перемещения поршня (5) в насосе (4), приводимого в движение линейным приводом (6), с одновременным контролем положения поршня (5) посредством концевых датчиков (7) и периодическим закрыванием электромагнитного клапана (9) и открыванием электромагнитного клапана (10) на этапе движения поршня (5) в насосе (4) снизу вверх и открыванием электромагнитного клапана (9) и закрыванием электромагнитного клапана (10) на этапе движения поршня (5) сверху вниз. Элементы устройства выполнены посредством технологии 3d печати из гибкого TPU пластика.

Технический результат заключается в возможности реализации дыхательного цикла симуляционной модели, приближенного к реальному, при котором температура воздуха на этапе вдоха и выдоха будут отличаться, что позволит использовать термочувствительный элемент в качестве датчика регистрации фаз дыхательного цикла.

Результаты были получены в рамках выполнения работ по программе «УМНИК-ТЕХНОКРТ 2019» в рамках договора № 15177ГУ/2020 от 31.05.2020 г.

1. М.Х. Мустафина, А.В. Черняк «Измерение температуры выдыхаемого воздуха (обзор литературы)» url: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmerenie-temperatury-vydyhaemogo-vozdruha-obzor-literatury>.
2. Дьяков, И.А. «Схемотехника: Учебное пособие.» // Тамбов: Изд-во ТГТУ, — 2001 — С 84 .



**Д.А. Иванов, А.К. Рыжаков**  
**DC/DC-КОНВЕРТЕРЫ VICOR ДЛЯ РОБОТОТЕХНИКИ**

*АО «Восток», Санкт-Петербург, di@efo.ru, techsupport@vostok-24.ru*

**Д.А. Ivanov, А.К. Ryzhakov**  
**DC/DC CONVERTERS VICOR FOR ROBOTICS**

*Vostok JSC, Saint-Petersburg, di@efo.ru, techsupport@vostok-24.ru*

В докладе рассмотрена эволюция DC/DC-конвертеров компании Vicor – импульсных преобразователей напряжения постоянного тока с гальваническим разделением входных и выходных электрических цепей и стабилизацией выходного напряжения.

Первый модуль семейства Brick был выпущен Vicor в 1984 году, и с тех пор компания Vicor является одним из мировых лидеров в области разработки и серийного производства модульных DC/DC-конвертеров с номинальной выходной мощностью от 50 Вт до нескольких киловатт и рабочим температурным диапазоном от -55 до +125 °С.

Новейшие модули семейства DCM, отличающиеся высоким коэффициентом полезного действия и большой удельной мощностью, рекомендованы инженерами Vicor для использования в источниках электропитания роботов.

**И.А. Марцинкевич<sup>1</sup>, М.Т. Коротких<sup>2</sup>**  
**МИКРОДУГОВОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ  
МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ  
СТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ РОБОТОВ**

*<sup>1</sup>ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург; <sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, i.martsinkevi42015@yandex.ru, kmt46@mail.ru*

**И.А. Martsinkevich<sup>1</sup>, М.Т. Korotkih<sup>2</sup>**  
**MICROARC OXIDATION IS A PROMISING METHOD FOR  
INCREASING THE HARDNESS AND CORROSION  
RESISTANCE OF ROBOT PARTS**

*<sup>1</sup>Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics, Saint Petersburg; <sup>2</sup>Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, i.martsinkevi42015@yandex.ru, kmt46@mail.ru*

В современном роботостроении, приборостроении, в авиастроении и во многих других крупных отраслях промышленности в качестве конструкционных материалов наиболее широко применяются алюминиевые сплавы. Алюминий и его сплавы обладают такими преимуществами, как низкая плотность, хорошие механические свойства, коррозионная устойчивость в ряде сред.

Однако алюминиевые сплавы не обладают рядом свойств, необходимых для работы в агрессивной среде, при ударных нагрузках, в парах трения и при внешних абразивных воздействиях.

Поэтому разработка технологических методов упрочнения, увеличения износостойкости и защиты поверхности таких деталей является актуальной технологической задачей.

Одним из перспективных методов, получающим все более широкое применение, является микродуговое оксидирование.

Микродуговое оксидирование алюминиевых сплавов позволяет повысить твердость поверхности и ее антикоррозионные свойства. Проведенные исследования позволили определить рациональные режимы и время обработки, отличающиеся относительно низким напряжением и плотностью тока, подобрать состав электролита, отличающийся дешевизной и экологичностью, определили зависимость шероховатости оксидного слоя от исходной шероховатости.

Выводы:

1. Предложенные условия реализации процесса микродугового оксидирования позволяют получать на деталях из алюминиевых сплавов оксидные пленки высокой твердости толщиной до 0,04 мм за время, не превышающее 12 минут.
2. Величина шероховатости оксидного слоя коррелирует с исходной шероховатостью и слабо зависит от времени обработки.
3. Процесс может быть полностью автоматизирован и экологически безопасен.
4. Применение микродугового оксидирования позволяет значительно расширить область применения деталей из алюминиевых сплавов в робототехнике различного назначения.

**И.Б. Прямыцын<sup>1</sup>, М.Т. Коротких<sup>2</sup>**  
**ИНТЕГРАЦИЯ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА  
В УСЛОВИЯХ ОПЫТНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА**

<sup>1</sup>ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, <sup>2</sup>СПбПТУ, Санкт-Петербург,  
pib@rtc.ru, kmt46@mail.ru

**I.B. Pryamitsyn<sup>1</sup>, M.T. Korotkih<sup>2</sup>**  
**INTEGRATION OF PRODUCT LIFE CYCLE STAGES  
FOR PILOT AND SMALL-BATCH PRODUCTION**

<sup>1</sup>Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Peterburg, <sup>2</sup>SPBSTU, St. Peterburg, pib@rtc.ru, kmt46@mail.ru

Применение систем PLM при подготовке производства сложных изделий, позволяет в значительной мере упростить управление жизненным циклом (ЖЦ) за счет получения надежной информации о его развитии.

В настоящее время выполнение всех этапов ЖЦ производится последовательно, что связано как с объективными, так и субъективными факторами. К числу первых относится декларируемая невозможность выполнения последующего этапа работ до завершения предыдущего. К субъективным трудностям можно отнести изменения вносимые в конструкторскую документацию (КД) в условиях опытно-конструкторских работ (ОКР) не только до полного завершения КД, но и на последующих стадиях. Это требует внесения корректировок на этапах разработки технологической документации (ТД), закупки материалов, комплектующих, что вызывает справедливые нарекания работников и сопротивление внедрению методов параллельной подготовки производства.

Попытки применения методов параллельной подготовки производства предпринимаются постоянно, но они до сих пор остаются не реализованными, так как требуют перестройки работы всех подразделений, участвующих в этапах ЖЦ изделия. К сожалению, этому вопросу мало уделяется внимание в литературе по управлению проектами, в которой рассматриваются алгоритмы действий менеджера проекта в различных условиях и областях производства.

Анализ структуры изделий, производимых в организации, показывает, что они состоят из групп элементов, которые можно характеризовать по общности технологического маршрутов, по материалам и сортаментам определенных групп, по изделиям, требующим изготовления по кооперации с другими организациями и т.д. При-

чем длительность технологического цикла для этих характерных групп изделий может существенно отличаться. Так можно выделить группу корпусных изделий изготавливаемых обычно из алюминиевых сплавов на станках с ЧПУ и требующих значительных временных затрат как на проектирование, так и на разработку технологических процессов, управляющих программ, закупку необходимого режущего инструмента и изготовление специального технологического оснащения.

Особой группой изделий являются электронные платы, требующие специальной технологической подготовки производства. Причем приведенные для примера две группы составляющих изделия элементов требуют как при конструкторской, так и при технологической подготовке привлечения различных специалистов, не являющихся взаимозаменяемыми. Тогда понятно, что поступление в технологическую подготовку таких групп элементов, объединенных в отдельные блоки, может осуществляться параллельно, что не дезорганизует планирование работы подразделения, позволит целесообразным образом составлять ведомости материалов, комплектующих, объединяя в них однородные материалы и сортаменты, унифицировать закупаемые инструменты с целью снижения их номенклатуры.

Предлагаемый групповой принцип разработки рабочей конструкторской и технологической документации (РКТД) заключается во временном объединении проектирования деталей, характеризующихся общим маршрутным технологическим процессом, общими материалами (циклами поставки материалов) и т.д. Только этот принцип позволит проводить параллельную технологическую подготовку производства (ТПП) и само производство. Такая подготовка производства будет базироваться на хорошо зарекомендовавшем себя в производстве групповом методе [1].

Таким образом, предлагаемая схема технологической подготовки производства превращается в сложную сеть последовательно-параллельных работ по группам изделий и сеть работ внутри каждой группы изделий. Представленная структура работ может анализироваться и оптимизироваться методами сетевого планирования и исследования операций [2,3], что позволит значительно сократить длительность ЖЦ.

Результаты были получены в рамках выполнения договора с Минпромторгом России от 15.05.2020 № 020-15-2020-003.

1. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства., ы 2-х томах.- Л.: Машиностроение, 1983.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций.. – Советское радио, 1972.
3. Кудрявцев Е. М. Методы сетевого планирования и управления проектом. – М.: ДМК Пресс, 2005.

*А.Н. Косенко, С.П. Кульгина, Д.С. Попов*  
**СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТРЕХ СРЕД  
БАЗИРОВАНИЯ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, a.kosenko@rtc.ru, s.kulgina@rtc.ru,  
d.popov@rtc.ru*

*A.N. Kosenko, S.P. Kulgina, D.S. Popov*  
**REMOTE CONTROL SYSTEM FOR ROBOTIC COMPLEXES  
OF THREE BASED ENVIRONMENTS**

*<sup>1</sup>Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Peterburg, a.kosenko@rtc.ru, s.kulgina@rtc.ru, d.popov@rtc.ru*

Работа посвящена выработке единых подходов к построению систем управления (СУ) и передачи данных для робототехнических комплексов (РТК) наземного, воздушного и подводного применения.

Проведенный обзор выполняемых задач, характеристик и особенностей построения РТК трех сред базирования позволяет выявить общие характеристики комплексов для реализации единой системы управления и передачи данных и единой модульной структуры. Унификация системы управления становится начальным этапом для построения группового управления робототехническими комплексами разных сред базирования.

Анализ состава типовых СУ комплексов позволил выделить общие элементы, среди которых:

- вычислители;
- автономные источник питания со своими контроллерами;
- контроллеры электроприводов
- аппаратура аудио-видео наблюдения
- сенсоры
- внутренняя шина передачи данных
- приемопередатчики команд управления, телеметрии и данных.

На основе полученных данных предложена концепция СУ РТК трех сред базирования, которая обеспечивает:

- функциональную изолированность модулей;
- оптимизацию межмодульных подключений;
- унификацию комплектующих;
- масштабируемость (при помощи дублирования модулей или путем использования полезных нагрузок сходной архитектуры);
- экономию времени разработки и отладки РТК;
- возможность бортовой самодиагностики.

Для проверки предложенной концепции в ЦНИИ РТК разработаны макеты бортовой системы управления, стационарного и оперативного пультов.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-01195-20-01.

***П.Ю. Васильева, Д.С. Попов, И.Р. Черемный, О.А. Шмаков***  
**БОРТОВОЙ КОМПЛЕКС АУДИО-ВИДЕО СРЕДСТВ ДЛЯ  
НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, p.vasileva@rtc.ru, d.popov@rtc.ru,  
i.cheremnyy@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

***P.Yu. Vasilieva, D.S. Popov, I.R. Cheremnyy, O.A. Shmakov***  
**ON-BOARD COMPLEX OF AUDIO-VIDEO EQUIPMENT FOR  
GROUND MOBILE ROBOTS**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, p.vasileva@rtc.ru, d.popov@rtc.ru, i.cheremnyy@rtc.ru,  
shmakov@rtc.ru*

Несмотря на бурное развитие интеллектуальных систем управления и автономных роботов, режим прямого телеуправления мобильной платформой остается актуальным. Вероятно, эта тенденция сохранится и в ближайшем будущем.

На качество телеуправления влияют многие параметры бортового комплекса аудио-видео средств (БК АВС), входящего в состав систем дистанционного управления, в том числе:

- разрешающая способность изображения;
- задержка отображения видеоинформации на мониторе пульта;
- возможность использования квадратора и функций «картинка-в-картинке» (picture-in-picture, PiP);

- возможность создание систем кругового обзора;
- возможность наложения текстовой и графической информации на изображение;
- возможность передачи видео на дополнительные дисплеи и сохранения на съемном носителе.

Основными элементами БК АВС являются:

- источники видеосигнала: видеокамеры и тепловизоры;
- источники аудиосигнала: микрофоны, различные полезные нагрузки;
- аудио и видео коммутаторы;
- модули квадратора и PiP;
- проводные и беспроводные передатчики.

Основываясь на типе камер, преобразователей и входных интерфейсах передатчиков, можно условно разделить современные БК АВС на два типа – цифровые и цифро-аналоговые.

Среди цифро-аналоговых систем современным требованиям по качеству видеоизображения отвечают только системы, построенные на стандарте АHD.

Более перспективной выглядит полностью цифровая схема построения комплекса, однако ее реализация и применение несут определенные сложности, в том числе:

- повышенные задержки при кодировании-декодировании видео;
- высокое энергопотребление вычислителей;
- высокая стоимость комплектующих;
- высокий порог вхождения разработчиков.

В ЦНИИ РТК были разработаны и собраны БК АВС в цифровом и цифро-аналоговом вариантах. Проведены экспериментальные исследования, в которых оценивались качество видеоизображения, задержка отображения на мониторе, возможность передачи на большие расстояния по проводным линиям.

На основе проведенных экспериментов сделаны основные выводы:

- наиболее перспективным направлением являются полностью цифровые БК АВС;
- применение таких систем позволяет существенно расширить возможности применения различных радиоканалов;
- на сегодняшний день целесообразно использовать в качестве вычислителя процессоры семейства Nvidia Jetson.

**Д.Р. Аюпова, Д.С. Попов, И.Р. Черемный, О.А. Шмаков**  
**ПУЛЬТЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ**  
**МОБИЛЬНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ**  
**КОМПЛЕКСАМИ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, di.ayupova@rtc.ru, d.popov@rtc.ru,  
i.cheremnyy@rtc.ru, e.gonibesova@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

**D.R. Ayupova, D.S. Popov, I.R. Cheremnyy, O.A. Shmakov**  
**REMOTE CONTROLLERS FOR GROUND-BASED MOBILE**  
**ROBOTS**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, di.ayupova@rtc.ru, d.popov@rtc.ru, i.cheremnyy@rtc.ru,  
e.gonibesova@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

В работе рассматриваются особенности разработки пультов дистанционного управления, применяемых в составе мобильных робототехнических комплексов (МРК), действующих в экстремальных условиях и ситуациях.

В составе любого МРК можно выделить такие основные функциональные элементы, как:

- мобильный робот;
- пост управления;
- канал связи.

Сложность мобильного робота, его уровень автономности, характер решаемых задач, тип канала управления и передача данных существенно влияют на архитектуру и состав поста управления. В общем случае, пост управления может иметь не только моноблочное исполнение, но и состоять из отдельных элементов, таких как пульт управления, выносной антенный пост, внешняя система энергообеспечения и дополнительные средства для подключения к общей вычислительной сети.

Пульты дистанционного управления, в зависимости от мобильности и функциональности, можно разделить на несколько типов:

- стационарные;
- переносные, выполненные на основе кейса;
- оперативные;
- технологические.

Отдельно стоит выделить тренажеры – варианты исполнения пультового оборудования, предназначенные для обучения операторов и отработки остальных элементов комплекса с использованием виртуальной модели мобильного робота.



Проведенный аналитический обзор различных типов пультов управления отечественного и зарубежного производства позволяет оценить общий уровень развития этого направления техники и выделить основные требования, предъявляемые к изделиям.

Важным направлением разработки является унификация пультового оборудования, позволяющая с одной стороны уменьшить номенклатуру изделий и стоимость разработки, а с другой – снизить затраты на переучивание операторов. Однако из-за разнообразия МРК полная унификация невозможна, но определенных результатов можно достичь, обеспечив совместимость пультов разного типа по программным интерфейсам и протоколам, а также обеспечить адаптацию различных элементов управления в пультах под конкретные задачи МРК.

Для удовлетворения данных требований в ЦНИИ РТК разработана линейка унифицированных пультов управления, состоящая из переносного, встроенного в кейс и снабженного выносным антенным постом, оперативного и технологического пультов. Реконфигурируемая панель управления, а также общее управляющее программное обеспечение позволяют с минимальными затратами адаптировать пульты под различные МРК. Для подтверждения выбранных технических решений проведены экспериментальные исследования на предмет удовлетворения требований, предъявляемых к каждому типу пульта управления (время автономной работы, дальность связи, задержка видеосигнала, массогабаритные характеристики и т.д.).

Результаты данной работы позволяют подтвердить актуальность характеристик и функциональные возможности разработанного пультового оборудования, а также определить направления дальнейших разработок.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-01195-20-01.

***А.С. Воронов<sup>1,2</sup>, Д.М. Королев<sup>1</sup>, Н.А. Китаев<sup>1</sup>, О.А. Шмаков<sup>3</sup>***  
**ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
АВТОНОМНЫХ РОБОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И  
КОМПЛЕКСОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

*<sup>1</sup>ООО «КРАВТ»; <sup>2</sup>Университет ИТМО; <sup>3</sup>ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург,  
avoronov@kravt-studio.com, info@kravt-studio.com,  
info@kravt-studio.com, shmakov@rtc.ru*

***A.S. Voronov<sup>1,2</sup>, D.M. Korolev<sup>1</sup>, N.A. Kitaev<sup>1</sup>, O.A. Shmakov<sup>3</sup>***  
**APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF POWER SUPPLY  
SYSTEMS FOR AUTONOMOUS ROBOTECNICAL SYSTEMS**

*<sup>1</sup>KRAVT LLC; <sup>2</sup>ITMO University; <sup>3</sup>Russian State Scientific Center for Robotics  
and Technical Cybernetics, St. Petersburg,  
avoronov@kravt-studio.com, info@kravt-studio.com, info@kravt-studio.com,  
shmakov@rtc.ru*

В соответствии с Указом президента РФ №899 от 07.07.2011 [1] разработка систем электроснабжения (СЭС) для специальной техники является критической технологией, важной и актуальной для развития российской экономики и повышения её конкурентоспособности.

Литий-ионные аккумуляторы (Li-ion), благодаря своим эксплуатационным качествам и наиболее выгодному соотношению электрическая ёмкость/массогабаритные характеристики в ряде направлений, например, автономных роботехнических системах и комплексах (РТК), твердо заняли главенствующую позицию в рейтинге популярности типов автономных источников питания (АИП).

Однако, для обеспечения их долговечности, безопасности использования и стабильности токоотдачи необходимо использовать специализированные СКУ – системы контроля и управления (в иностранной литературе широко распространена аббревиатура BMS – Battery Management System). Это не позволяет использовать не адаптированные к конкретным задачам литий-ионные аккумуляторы в РТК.

При этом важно отметить, что СЭС РТК не ограничивается только АИП. К СЭС следует относить системы коммутации, зарядные устройства, соединители и кабельные части, СКУ, протоколы связи, диагностическое оборудование, посадочные места АИП в РТК и т.д.

В связи с этим широко распространён подход проектирования оригинальных СЭС для РТК, что позволяет относительно быстро

модернизировать уже имеющиеся СЭС для конкретного РТК, уже готового или находящегося в стадии разработки. Это даёт определенный выигрыш в краткосрочной перспективе, но нецелесообразно «на дистанции».

В качестве альтернативного подхода предлагается использовать серийные СЭС, изначально спроектированные с учетом требований широкого спектра имеющихся РТК, что позволяет получить ряд преимуществ, среди которых можно выделить:

- уменьшение себестоимости СЭС, в частности АИП в связи с возрастающей серийностью
- повышение надежности РТК в связи с возрастанием взаимозаменяемости их узлов;
- уменьшение стоимости разработки РТК в связи с применением покупных компонентов.

Приведенный перечень не является полным.

Наряду с этим, применение подобных серийных СЭС для РТК способствует решению дополнительных задач, например, использование различных аксессуаров как для передачи электроэнергии другим устройствам (переносные пульты управления, мобильные телефоны и рации, ноутбуки и т.д.) так и для зарядки АИП (док-станция от 220 В, зарядка от солнечной панели, от аккумулятора автомобиля и т.д.).

Отдельно следует отметить, что по такому пути пошли некоторые фирмы, специализирующиеся на СЭС специальной и военной техники, в частности Bren-Tronics [2] и Ultralife Corporation [3] (США), что отдельно подтверждает рациональность предложенного подхода, по разработке серийного СЭС для РТК.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-01195-20-01.

1. Указ П. Р. Ф. от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» //Собрание законодательства Российской Федерации. – 2011. – №. 28.

2. <https://www.bren-tronics.com/batteries.html>.

3. <https://www.ultralifecorporation.com/>.

*В.М. Битный-Шлякто, Н.Н. Якубов*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ УСТОЙЧИВЫХ  
КАНАЛОВ СВЯЗИ ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППЫ  
МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, v\_bitny@rtc.ru*

*V.M. Bitnyi-Shliakhto, N.N. Yakubov*

**DEFINING APPROACHES TO CREATING STABLE  
COMMUNICATION CHANNELS FOR A HETEROGENEOUS  
GROUP OF MOBILE ROBOTS**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, v\_bitny@rtc.ru*

В настоящее время применение наземных робототехнических комплексов военного назначения (РТК ВН) при подготовке и ведении боевых действий является актуальным и перспективным направлением развития форм и способов вооруженной борьбы. В соответствии с принципами сетецентрического управления, уже сегодня многие ведущие страны мира активно ведут разработку смешанных группировок роботизированных образцов вооружения и военной техники (ВВТ), взаимодействующих в едином информационно-управляющем пространстве. Руководство такими группировками требует решения задач устойчивого доведения управляющей информации и бесперебойного обмена разведывательными данными по каналам связи с постоянно изменяющимися параметрами в условиях дестабилизирующего воздействия естественного и искусственного характера.

Приоритетным направлением повышения автономности роботизированных образцов ВВТ является разработка новых эффективных способов управления наземными РТК ВН с использованием беспроводных каналов связи. При этом формирование требований к указанным каналам является и создание единого канала связи для робототехнических средств различных сред базирования наиболее важной и актуальной научно-технической задачей для развития гетерогенных комплексов.

Современные мобильные роботы становятся информационно нагруженными. Условия применения накладывают необходимость установок различных типов сенсоров, систем технического зрения, аппаратуры локации и навигации. Естественно, возрастают требования к каналу передачи информации от робота к оператору, его надежности и пропускной способности. Остро встают вопросы

определения особенностей построения схем, выбора элементной базы, вопросы унификации и комплексирования.

Физические ограничения, накладываемые для различных сред, оказывают существенное влияние на разработку подходов к созданию единой сети с минимальными габаритными размерами аппаратуры и максимальной пропускной способностью каналов передачи данных.

Необходимость удаления оператора на значительное безопасное расстояние, наличие мощных источников тепла, ионизирующего излучения, плотной городской застройки резко усложняют условия распространения радиосигналов. Соответственно многократно возрастают и требования к телекоммуникационным системам, способным в таких тяжелых условиях обеспечить высоконадежный и высокоскоростной обмен данными. Отсутствие систем беспроводной передачи информации, соответствующих предъявляемым к ним требованиям по надежности, защищенности, скорости передачи информации, заставляют определить подходы к созданию высоконадежного устойчивого канала связи для работы в различных средах с целью гарантированного управления гетерогенной группой мобильных роботов.

*Н.О. Копытов, В.М. Битный-Шляхто*  
**ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ  
РОБОТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИЙ ПОИСКА И  
ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ  
ИЗЛУЧЕНИЙ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, n.kopytov@rtc.ru*

*N.O. Kopytov, V.M. Bitnyi-Shliakhto*  
**ORGANIZATION OF WORK FOR A GROUP OF MOBILE  
ROBOTS WHEN PERFORMING OPERATIONS OF SEARCH  
AND LOCALIZATION OF IONIZING RADIATION SOURCES**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, n.kopytov@rtc.ru*

В результате произошедших катастроф (Чернобыльская АЭС 1986, АЭС Фукусима-1 2011) появилась необходимость создания и усовершенствования роботизированных платформ радиационно-химической разведки. На данный момент создан ряд роботов,

успешно выполняющих поставленные задачи, работы над усовершенствованием не прекращаются. До настоящего времени не решены проблемы связанные с большим количеством отказов и быстрой деградацией систем из-за работы в экстремальных условиях, длительному выполнению операций и низкой информационной осведомленности оператора.

В целях повышения эффективности, безопасности выполнения операций по локализации ИИИ предлагается использовать группу мобильных роботов, обеспечивающих увеличение территории охвата, повышение скорости определения и контейнерования ИИИ.

Исследование выявило ряд преимуществ в использовании группы роботов при выполнении различных операций в зонах ЧС:

- повышение оперативности получения данных радиационной обстановки за счёт ретрансляции и обмена данными;
- уменьшение времени обследования габаритного объекта, представляющего опасность за счёт использования сенсоров различных робототехнических средств;
- повышение автономности группы за счет получения навигационных и иных параметров, возможность автоматизированной корректировки маршрута движения

*Н.В. Малютин<sup>1</sup>, В.С. Кисилёва<sup>2</sup>, М.Д. Чижиков<sup>3</sup>*  
**УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРНЫХ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ**

*<sup>1</sup>ООО «КБ ИГАС», Москва; <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»; <sup>3</sup>МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, mny220609@mail.ru, s-kiseleva1@mail.ru, mig1998@mail.ru*

*N.V. Malyutin<sup>1</sup>, V.S. Kiselev<sup>2</sup>, M.D. Chizhikov<sup>3</sup>*  
**INCREASE IN THE EFFICIENCY OF FIRE-FIGHTING  
MULTIFUNCTIONAL ROBOTIC SYSTEMS**

*<sup>1</sup>«CB IGAS», Moscow; <sup>2</sup>St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Moscow; <sup>3</sup>BMSTU, Moscow, mny220609@mail.ru, s-kiseleva1@mail.ru, mig1998@mail.ru*

Ликвидация возгораний ландшафтных и промышленных объектов связана с риском для жизни населения и личного состава сотрудников МЧС. Большое значение для обеспечения безопасности

пожаротушения имеют технологии ускоренной ликвидации возгораний за счёт применения эффективных огнетушащих веществ (ОТВ), средств их доставки и управления процессом пожаротушения. Коллективами предприятий Санкт-Петербурга и Москвы, разработаны предложения эффективного пожаротушения, которые базируются на следующих технических решениях.

АО «Научно-Технический Центр Прикладные нанотехнологии» разработало и освоило производство наноструктур - Астрален, которые применяются в технологии новых ОТВ и технологиях пожаротушения разработанных в «Санкт-Петербургском университете государственной противопожарной службы МЧС России». На рисунке 1 приведены результаты экспериментальных испытаний этих ОТВ при тушении возгораний жидких углеводородов (тип А). Аналогичные результаты получены для твёрдых (деревянных) конструкций (тип Б).

На рисунке 1 представлены фотографии процесса тушения углеводородов водой с Астраленами: на 0 – 8 с. Время тушения 7 секунд. Время тушения без Астрален 56 секунд.







Рисунок 1 – Тушение углеводородов водой с Астраленами

На основе полученных результатов, ООО «Конструкторское бюро информатики, гидроакустики и связи» разработало технологию применения авиационных РТК, как средств доставки к месту возгорания ОТВ, так и дистанционно управляемых модулей с ОТВ (рис.2). Увеличение эквивалентной ёмкости полезной нагрузки обосновано на том, что время тушения возгораний уменьшается в 5-7 раз. Следовательно, РТК обеспечит обработку в 5-7 раз большую площадь возгорания. Конструкционные решения для этих вариантов авиационных РТК разработало ООО «Ниагара», приме-

нив углеродные композитные материалы собственной разработки. Аналогичные решения разработаны для наземных пожарных РТК.

Таблица 1 – БПЛА и наземные РТК для доставки ОТВ

РТК	БПЛА		Наземные	
	«Скат» 	«Орион» 	MVF-5, DOK-ING, 	«Уран-14» 
Полезная нагрузка, кг	6 000	200	2000	2000
Эквивалентный объём ОТВ, м <sup>3</sup>	36,0	1,0	<b>2,0</b>	<b>10,0</b>

РТК MVF-5, DOK-ING (Хорватия) поставляется в Россию. РТК «Уран-14» после модернизации будет иметь экспортный потенциал.

Получение рабочей жидкости ОТВ для авиационных и наземных РТК можно выполнять на стационарных, мобильных малогабаритных установках, которые начинает разрабатывать ООО «КБ ИГАС».

***А.В. Плотников, В.Е. Пряничников, М.Б. Нищанский***  
**АЛГОРИТМЫ ГЕНЕРАЦИИ СИНЕРГИЙ ДЛЯ ЗАХВАТА**  
**ОБЪЕКТОВ СЕРВИСНЫМ РОБОТОМ**

*ФГУ «ФИЦ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», Москва, plotnikov.workmail@yandex.ru*

***A.V. Plotnikov, V.E. Pryanichnikov, M.B. Nishchanskii***  
**ALGORITHMS OF SYNERGY GENERATION TO CAPTURE**  
**OBJECTS BY THE SERVICE ROBOT**

*Keldysh Institute of Applied Mathematics Russian Academy of Sciences, Moscow, plotnikov.workmail@yandex.ru*

Для управления манипулятором робота Амур-307 в настоящее время разрабатывается словарь синергий движений. Синергии движений представляют собой согласованные изменения суставных



углов (кинематическая синергия), суставных моментов (динамическая синергия) [1], а также приводов движителя. В процессе создания системы формируется словарь действий робота, который включает в себя набор стандартных движений робота с манипулятором в зависимости от выполняемой задачи и обстановки. Эти элементарные последовательности действий формируются путем показа оператором перемещений манипулятора и подвижной платформы робота с использованием метода решения ОЗК [3] и динамически оправданных движений [2], используя виртуальные модели робота и/или реальный сервисный робот. Например, захват и поднятие объекта манипулирования с уровня стола, тумбочки или пола и его последующее размещение в стандартной позиции на транспортировочном столике робота заносится в файл синергий (типовых движений) вместе с такими изменяемыми переменными параметрами как масса захватываемого объекта и его начальное положение относительно робота. (рис. 1, 2).

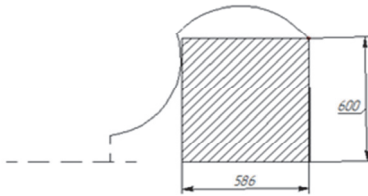


Рисунок 1 – Зона захвата объектов со стола высотой 60 см.

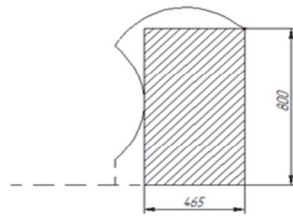


Рисунок 2 – Зона захвата объекта со стола высотой 80 см.

При захвате объекта со стола синергия управления приводами (рис.3) манипулятора робота содержит следующие элементарные транспортные движения 1 и 2 (рис.4):

– привод подвижности  $q_3$  обеспечивает сохранение горизонтального положения схвата с захваченным объектом. Необходимое значение положения подвижности  $q_3$  определяется аналитически из положений подвижностей  $q_1$  и  $q_2$ ;

– приводы  $q_1$  и  $q_2$  обеспечивают движение объекта по составной программной траектории, обеспечивающей вывод объекта манипулирования за пределы стола (участок 1) и установку объекта на транспортную платформу робота (участок 2).

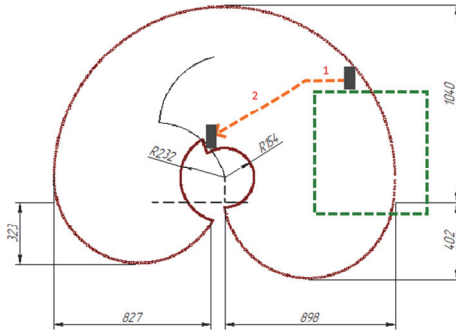
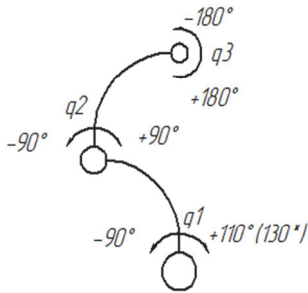


Рисунок 3 – Кинематическая схема манипулятора работающего в пределах рабочей зоны манипулятора  
Рисунок 4 – Движение захвата объекта на столе в пределах рабочей зоны манипулятора сервисного робота

Помимо траекторных данных  $Q_j = \langle q, dq/dt \rangle_j$  в словарь синергий заносится набор коэффициентов  $K$  для ПИД регуляторов приводов робота. Набор  $K$  формируется при обучении системы. Управляющие сигналы  $U_i^j(t)$ , подходящие для выполнения набора базовых движений  $\langle q, dq/dt \rangle_j$ , определяются формулой:

$$U_i^j(t) = Kp_j^i \times e(t) + Ks_j^i \times \int_{t-Dt}^t e(t)dt + Kd_j^i \times \frac{de(t)}{dt},$$

где  $e(t)$  – рассогласование программного и фактического измеренного движений,  $K = \langle Kp(i,j), Ks(i,j), Kd(i,j) \rangle$  - матрица коэффициентов следящей системы,  $i$  - номер обобщенной координаты, по которой осуществляется управление,  $j$  - номер исполняемый синергии.

Для заполнения словаря синергий движений оказалось удобным использовать метод решения ОЗК FABRIC [3]. Суть метода заключается в геометрическом нахождении положений звеньев манипулятора (рис. 5). На каждой итерации звено выставляется в точку, лежащую на прямой между желаемым положением прошлого звена и нынешним положением на расстоянии длины звеньев. Метод имеет очень низкий объем вычислений и выдаёт в результате «естественное» положение звеньев манипулятора.

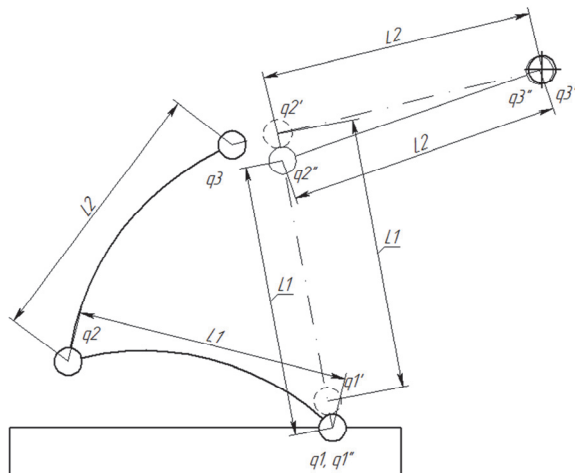


Рисунок 5 – Решение ОЗК манипулятора с помощью метода FABRIC.

Рассмотрим подробнее одну из синергий - алгоритм захвата роботом объекта, имеющего массу, сравнимую с массой самого робота. Данное действие опасно тем, что в процессе его осуществления может произойти опрокидывание робота в связи с резким смещением вперед центра масс системы робот+объект. Предлагаемый алгоритм управления сервисного робота следующий:

1. осуществляется определение массы объекта манипулирования при его захвате, используя специальное пробное движение;
2. объект манипулирования переносится внутри сервисной зоны на транспортировочный столик, при этом осуществляется скоординированное выдвигание робота вперед для сохранения равновесия;
3. используются данные системы навигации для определения безопасной области передвижения при осуществлении захвата.

Решение задачи определения массы объекта манипулирования может осуществляться как путем прямых измерений, используя силомоментные датчики, так и аналитически используя обратные связи по току и позиции приводов. В сервисном роботе АМУР-307 использован аналитический метод определения массы объекта манипулирования, основанный на последовательном увеличении усилия поднятия манипулятором объекта и сопоставлении этого с измерением координат манипулятора робота. Захват относительно

тяжелого объекта сопровождается одновременным движением робота с ускорением по направлению к захватываемому объекту. Такое сложное движение, включающее в себя одновременное движение манипулятора и движителя робота, позволяет создать момент сил инерции, обеспечивающих сохранение равновесия системы. При этом для определения возможности такого перемещения корпуса робота во время осуществления захвата необходимо использовать данные от ИК-датчиков близости.

Предлагаемый в работе подход к построению сложных алгоритмов манипулирования и перемещения сервисного робота представляется достаточно эффективным и сравнительно просто реализуемым в рамках аппаратных возможностей разрабатываемого нами сервисного робота Амур-307.

1. Методы биомехатроники тренажёра руки человека / А.К. Платонов, А.А. Фролов, Е.В. Бирюкова, В.Е. Пряничников, С.Н. Емельянов // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша РАН 2012. № 82. 40 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-82>

2. Биологически адекватные принципы управления экзоскелетом руки человека / А.А. Фролов, Е.В. Бирюова, П.Д. Бобров, А.К. Платонов, В.Е. Пряничников. // Информационно-измерительные и управляющие системы (вып. Интеллектуальные адаптивные роботы, т.8, № 1-2), М.: Радиотехника, 2013, т.11, № 4. -С.7-18,ISSN 2070-0814

3. Andreas Aristidou, Joan Lasenby, FABRIK: A fast, iterative solver for the Inverse Kinematics problem, Graphical Models, Volume 73, Issue 5, 2011, Pages 243-260, ISSN 1524-0703, <https://doi.org/10.1016/j.gmod.2011.05.003>.

**СИМПОЗИУМ «ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЦИФРОВЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ»**

---

***Е.А. Долматов<sup>1</sup>, Д.О. Трубников<sup>2</sup>, Д.С. Яговитов<sup>2</sup>***  
**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ  
ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-  
КОНФИГУРИРУЕМОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ  
СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*<sup>1</sup>ФГБУ «16 ЦНИИИ» Минобороны России, г. Мытищи; <sup>2</sup>Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, mesterium@inbox.ru, trubnikoff.denis2011@yandex.ru, danila.yagovitov@mail.ru*

***E.A. Dolmatov<sup>1</sup>, D.O. Trubnikov<sup>2</sup>, D.S. Yagovitov<sup>2</sup>***  
**METHODOLOGICAL APPROACHES TO SOLVING THE  
PROACTIVE CONTROL PROBLEM OF FUNCTIONING OF A  
SOFTWARE-DEFINED INFOCOMMUNICATION NETWORK  
OF SPECIAL PURPOSE**

*<sup>1</sup>FSBI «16 CRTI» of Russian Defence Ministry, Mytishi, Russia  
mesterium@inbox.ru; <sup>2</sup>Military Academy of communications named after  
Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg,  
trubnikoff.denis2011@yandex.ru*

В настоящем докладе представлены результаты аналитических исследований авторов в области изучения возможностей применения методов искусственного интеллекта, в частности – машинного обучения, с целью решения задачи проактивного управления программно-конфигурируемой сетью специального назначения.

За основу исследований взяты открытые данные [1] о реализуемых в настоящее время подходах вооруженных сил вероятного противника к восприятию и визуализации процесса управления боевыми действиями, отличающихся высокой степенью концептуальности и визуализации. Учитывая происходящее в настоящее время увеличение вычислительной мощности компьютерных средств обработки информации и, как одно из следствий этого, повсеместное развитие методов искусственного интеллекта (ИИ), можно заключить, что в течение ближайших лет будет наблюдаться качественный переход от современных сетцентрических войн к ведению боевых действий в новом интеллектуальном военном пространстве.

Авторами исследована правовая составляющая развития ИИ в РФ [2] и в Министерстве обороны в том числе, сделаны выводы о том, что руководство Вооруженными силами отчества уделяет пристальное внимание внедрению методов ИИ в управленческие процессы.

В докладе приведена концептуальная модель программно-конфигурируемой инфокоммуникационной сети специального назначения, освещены особенности ее функционирования и перечислены достоинства и недостатки. Кроме того, сформулирована задача проактивного управления сетью как многокритериальная оптимизация целевой функции эффективности её функционирования путем осуществления балансировки нагрузки на сеть до того момента, когда нагрузка оказала на эту сеть дестабилизирующее воздействие.

На основании традиционной классификации методов машинного обучения (обучение с учителем, обучение без учителя, обучение с подкреплением и ансамблирование моделей этих классов) выдвинуты предположения, что методы машинного обучения с учителем (классификация, полиномиальная и/или логистическая регрессии) непригодны для предсказания появления аномального трафика в исследуемой сети, поскольку имеются определенного рода ресурсоемкие сложности при генерации и разметке обучающего набора данных. Ряд исследований [3], опирающихся на теорию самоподобия трафика, свидетельствуют о том, что искусственные нейронные сети (ИНС) определенных рекуррентных архитектур (например, LSTM) пригодны для предугадывания появления аномалий в потоках данных, например, в сети. Кроме того, рассмотрен подход о применении ставшей уже классической ИНС «многослойный персептрон» для решения ассоциативной задачи появления аномального трафика. Не оставлены без внимания методы машинного обучения с подкреплением.

В заключении авторами выдвинуто предположение о наиболее эффективном применении рекуррентных ИНС для решения задачи проактивного управления программно-конфигурируемой сетью специального назначения.

1. Future Joint Warfare. Concepts [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.dtic.mil/futurejointwarfare/concepts/iw\\_joc2\\_0.pdf](http://www.dtic.mil/futurejointwarfare/concepts/iw_joc2_0.pdf), свободный (дата обращения 16.05.2021 г.)

2. Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»

Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/bank/44731>, свободный (дата обращения 16.05.2021 г.)

3. Li C. et al. Detection and defense of DDoS attack–based on deep learning in OpenFlow-based SDN //International Journal of Communication Systems, 2018. – Т. 31. – №. 5. – с. 3497.

*П.Н. Балахонов, В.И. Бегун*  
**АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В  
ПАССИВНЫХ СИСТЕМАХ НАБЛЮДЕНИЯ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

*ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург,  
pumba03@rambler.ru*

*P.N. Balakhonov, V.I. Begun*  
**AUTOMATIC CLASSIFICATION OF OBJECTS IN PASSIVE  
SURVEILLANCE SYSTEMS OF ROBOTIC COMPLEXES**

*VUNC Navy «Naval Academy», St. Petersburg, pumba03@rambler.ru*

По мнению британского кибернетика и физиолога Фрэнка Джорджа основными функциями самоуправляемых машин являются:

1. Приём, классификация, запоминание и передача информации.
2. Реакция на изменения в окружающей среде, включая выдачу информации о состоянии самой машины.
3. Обучение (наблюдение и управление собственным целенаправленным поведением).

Именно на основании этих функций самоуправляемые машины попадают под определение организма. Основное предположение кибернетики состоит в том, что человеческий организм находится в рамках такого определения, откуда следует, что человек есть (в известном смысле) машина [2].

Соответственно машины и, как частный случай, роботы проектируются по принципу строения человеческого организма. Взяв это за постулат можно прийти к выводу, что анализаторы органов чувств человека представляют собой модель автоматической системы наблюдения[3].

В настоящее время достигнуты значительные успехи в автоматической классификации активных систем наблюдения, т.к. вероятность правильной классификации активными средствами равна

$$P_{\text{пк(ас)}} = P_{\text{обн}} - P_{\text{лц}} \quad (1)$$

где  $P_{\text{обн}}$  – вероятность обнаружения цели,  $P_{\text{лц}}$  – вероятность появления ложной цели.

Так как физическое поле зоны обнаружения формируется самим активным средством, то посредством его подстройки можно добиться

$$P_{\text{лц}} = 0 \quad (2)$$

Тогда, как вероятность правильной классификации пассивными средствами равна

$$P_{\text{пк(пс)}} = P_{\text{обн}} \sum P_{ij} k_i \quad (3)$$

где  $P_{ij}$  – вероятность появления  $i$ -го классификационного признака,  $j$ -го класса цели,  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го классификационного признака.

Так как физическое поле зоны обнаружения пассивная система наблюдения не изменяет, то в современных средствах используется не автоматическая классификация, а автоматизированная, что подразумевает наличие оператора.

Так как робототехнический комплекс не подразумевает наличие оператора, то автоматическая классификация пассивных систем наблюдения возможна по тем же алгоритмам, по которым действует человек [1].

В статье обоснован расчёт весовых коэффициентов, позволяющий реализовывать автоматическую классификацию объектов в пассивных системах наблюдения робототехнических комплексов.

1. ГОСТ Р 60.0.0.4-2019. Роботы и робототехнические устройства: национальный стандарт: дата введения 2019-09-01. – Текст: электронный // Консультант Плюс: справочно-правовая система (дата обращения: 10.05.2021).

2. Ф.Х. Джордж Мозг как вычислительная машина /перевод с английского Ю.И. Лашкевича и Э.Н. Трифонова, под редакцией и с



предисловием действ. чл. АМН СССР проф. П.К. Анохина/ – М.:  
Издательство иностранной литературы, 1963. – 528с.

3. Мышкин, И.Ю. Физиология сенсорных систем и высшей  
нервной деятельности: учеб. пособие/ И.Ю. Мышкин; Яросл. гос.ун-  
т. – Ярославль: ЯрГУ, 2008. – 168с. – ISBN 978-5-8397-0603-3

*Р.В. Абрамкин*

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ  
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ВТОРИЧНОГО  
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПОЛЕВЫХ ОБЪЕКТОВ СВЯЗИ**

*Военная академия связи им. С.М. Буденного, Санкт-Петербург,  
avg62rus@rambler.ru*

*R.V. Abramkin*

**ON THE APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL  
NETWORKS TO IDENTIFY AND PREDICT THE TECHNICAL  
CONDITION OF THE SECONDARY POWER SUPPLY SYSTEM  
OF FIELD COMMUNICATION FACILITIES**

*Military Academy of Communications named after S.M. Budyonny, St. Petersburg,  
avg62rus@rambler.ru*

В настоящее время контроль технического состояния сложных технических систем, таких как, система вторичного электропитания полевых объектов связи, представляет собой длительный и неавтоматизированный процесс, который осуществляется операторами непосредственно на самих объектах контроля. Данное обстоятельство оказывает негативное влияние на своевременность выявления отказов контролируемого объекта. Также, весьма негативным фактором является полное отсутствие какого-либо прогноза технического состояния объекта контроля, что приводит к внезапным отключениям вторичной системы электропитания полевых объектов связи, и, соответственно, перерыву связи. Совокупность данных факторов крайне отрицательно сказывается как на устойчивой работе системы связи в целом, так и на коэффициенте исправного действия направления связи, в частности.

Нейронная сеть на основе разработанной определенной методики позволяет строить зависимость одного параметра от другого в виде полинома. То есть, она может позволить найти скрытые зави-

симости, одной величины от другой, которые невозможно определить методами прямых измерений. В свою очередь, прогнозирование значений контролируемых параметров позволяет осуществить прогнозирование технического состояния системы вторичного электропитания полевых объектов связи на конкретном временном интервале с заданной вероятностью. Точность прогноза зависит от обучающей выборки, количества слоев нейронной сети, ее архитектуры, вида связей между слоями, выбора функции активации, а также от ряда других факторов.

Применение нейросетевого подхода позволяет добиться весьма точных результатов прогнозирования и контроля, а также получить высокое быстродействие систем в режиме реального времени. Использование нейронных сетей для решения задач контроля и прогнозирования технического состояния позволяет проводить классификацию состояния системы вторичного электропитания полевых объектов связи, то есть отнести его состояние к одному из классов, определяемых по данному виду испытаний или измерений.

Проведенные эксперименты и исследования подтвердили целесообразность использования нейросетей для решения задач контроля и прогнозирования технического состояния. Это дает возможность внедрения новейших компьютерных технологий в производство комплексов, применяемых на объектах контроля. Применение НС дает возможность решить задачу классификации областей состояний объекта контроля.

Таким образом, активное внедрение нейросетевых технологий в процесс контроля и прогнозирования технического состояния позволяет взглянуть на это совершенно по-другому и открывает новые горизонты возможностей в данной области исследований.

1. Саенко И.Б., Скорик Ф.А., Котенко И.В. Мониторинг и прогнозирование состояния компьютерных сетей на основе применения гибридных нейронных сетей // Изв. ВУЗов. приборостроение. 2016. Т. 59. № 10. С. 795 – 800.

2. Винограденко А.М. Прогнозирование отказов контролируемых комплексов связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 3. С. 222-237.

3. Антонюк Е.М., Ломоносова Ю.С. Системы автоматического контроля со сжатием данных // Известия СПбГЭТУ (ЛЭТИ). 2017. № 7. С. 62-68.

4. Волобуев М.Ф., Уфаев В.А. Обнаружение постепенных отказов в резервированной измерительной системе в зависимости от

полноты вероятностного описания выходных сигналов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. № 10. Т. 15. С. 28-35.

*Н.Г. Топольский<sup>1</sup>, В.Я. Вилисов<sup>2</sup>*  
**ПЛАНИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ПО ЛИКВИДАЦИИ  
ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ  
РОБОТОВ**

*<sup>1</sup>Академия ГПС МЧС России, Москва; <sup>2</sup>ООО Энергия ИТ, Королев,  
drw32@yandex.ru, vvib@yandex.ru*

*N.G. Topolsky<sup>1</sup>, V.Ya. Vilisov<sup>2</sup>*  
**PLANNING OF EMERGENCY RESPONSE OPERATIONS  
BY A HETEROGENEOUS GROUP OF AUTONOMOUS  
MOBILE ROBOTS**

*<sup>1</sup>Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moscow; <sup>2</sup>Energy IT  
LLC, Korolev, drw32@yandex.ru, vvib@yandex.ru*

Предложен подход и соответствующий алгоритм планирования работ в группе автономных мобильных роботов, выполняющих функции ликвидации последствий пожаров или чрезвычайных ситуаций (ЧС). Такая мультиагентная робототехническая система (МРТС) должна эффективно работать без непосредственного участия оператора, выполняющего функции лица, принимающего решения (ЛПР). Автономность работы МРТС обусловлена условиями ЧС с очагами заражения, опасного для пребывания людей [1, 2].

Целью использования группы роботов (мультиагентной РТС - МРТС) является исследование рабочей зоны с последующей ее расчисткой и определением маршрутов безопасной эвакуации людей и/или прохода спасателей.

Планирование выполняется на основе машинообучаемой модели, решающей для МРТС задачи оптимального текущего объемного планирования операций по ликвидации ЧС (на основе задачи линейного программирования - ЗЛП), где в качестве учителя выступает опытный ЛПР-оператор. Контекстом применения машинообучаемых моделей в МРТС является ЧС, в которой имеется рабочая зона с очагами заражения или возгорания [1]. В качестве прототипов автономных роботов, оснащенных интеллектуальным управ-

лением, рассматриваются неавтономные роботы типа МРК-27 и МРК-46.

Специфика машинного обучения роботов в составе группы заключается в том, что параметры целевой функции ЗЛП оптимального распределения заданий априори неизвестны. Поэтому, в рамках предлагаемого подхода, «боевой» работе МРТС должно предшествовать ее обучение опытным оператором в режиме тренировки на полигоне или в условиях симуляции на компьютере.

В рассматриваемом модельном примере все работы представляются двумя типами: вывоз мусора из рабочей зоны, измеряемый в «робото-поездках» -  $x_1$ ; замер уровня загрязнения в различных точках зоны и расстановка маркеров на границах допустимых для человека уровней загрязнения, измеряется в количестве замеров, проводимых по некоторой сетке. Количество планируемых замеров обозначим  $x_2$ .

Каждая из планируемых работ вносит свой вклад в общий эффект по ликвидации ЧС и имеет свою полезность:

$$L(x_1, x_2) = c_1x_1 + c_2x_2, \quad (1)$$

где  $c_1, c_2$  - обобщенные весовые коэффициенты вклада в общий эффект единицы работы того или иного типа. Они и являются предметом машинного обучения по действиям опытных ЛПР-операторов (или групп экспертов). Ресурсы, лимитирующие количество планируемых работ, это оставшийся заряд аккумуляторов, для роботов каждого из типов ( $a_{10}, a_{20}$ ), и оставшееся количество маркеров -  $a_{30}$ . Каждая из видов работ требует определенного количества ресурса каждого типа  $a_{ij}$ , где  $i$  - тип ресурса ( $i=1;2;3$ );  $j$  - вид работы ( $j=1;2$ ). Тогда задача оптимального объемного планирования примет такой вид:

$$\bar{x}^{\text{opt}} = \arg \max_{x_1, x_2} L(x_1, x_2), \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^2 a_{ij}x_j \leq a_{i0}, \quad (3)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1;2}, \quad (4)$$

где  $\bar{x}^{\text{opt}} = [x_1^{\text{opt}} \quad x_2^{\text{opt}}]^T$  - вектор оптимальных значений искомых переменных;  $T$  - символ транспонирования.

ЗЛП (1)-(4) может быть решена любым способом, что даст объемный план работ для МРТС текущего состава. Для машинного

обучения модели предложен рекуррентный алгоритм, обеспечивающий ее адаптацию к целевым предпочтениям ЛПР-оператора.

В тех случаях, когда существенно изменяются параметры среды и/или предпочтения ЛПР, процедура настройки модели может быть выполнена вновь. Перезагрузка модели может выполняться в «горячем» режиме - без прекращения сеансов планирования и выполнения работ.

1. Баев Д.В. Анализ состояния и применения робототехнических комплексов для проведения аварийно-спасательных работ в МЧС России // Экстремальная робототехника // Сб. XXX-й Междунар. науч.-тех. конф. СПб: 2019. 510 с. С. 148-149.

2. Тужиков Е. Н., Перевалов А. С., Рассохин М. А. Перспективы развития и применения робототехники в МЧС России // Техно-серная безопасность. Вып. 2(23). 2019. С. 85-91.

*В.Я. Вилисов<sup>1</sup>, Г.А. Филяев<sup>2</sup>*

**ТЕХНОЛОГИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ**

*<sup>1</sup>ООО Энергия ИТ, г. Королев; <sup>2</sup>РКК Энергия, г. Королев, [vwib@yandex.ru](mailto:vwib@yandex.ru),  
[gilyaev@yandex.ru](mailto:gilyaev@yandex.ru)*

*V.Ya. Vilisov<sup>1</sup>, G.A. Filyaev<sup>2</sup>*

**CONCEPTUAL DESIGN TECHNOLOGY OF MONITORING  
SYSTEM WITH MULTI-AGENT ROBOTIC SYSTEM**

*<sup>1</sup>Energy IT LLC, Korolev; <sup>2</sup>RSC Energia, Korolev; [vwib@yandex.ru](mailto:vwib@yandex.ru),  
[gilyaev@yandex.ru](mailto:gilyaev@yandex.ru)*

Контекстом применения мультиагентной робототехнической систем (МРТС) [1] является мониторинг пожароопасной территории. В состав гомогенной МРТС входят беспилотные летательные аппараты (БПЛА), циклически выполняющие операции облета своего участка территории (с идентификацией возгораний) в автономном режиме, возвращение на базу зарядки, ожидание зарядки, зарядка, возвращение в зону своей ответственности, облет своего участка и т.д. Построена имитационная модель, позволяющая по данным многих прогонов, с использованием методов оптимального планирования экспериментов, построить полиномиальные регрессионные зависимости показателей качества работы МРТС от ее параметров, по

которым решить многокритериальную задачу выбора оптимальных параметров зарядного терминала МРТС. Мониторинг пожаров на заданной территории (объекте) является одной из важных сфер использования МРТС, в частности, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), при выполнении задач МЧС России.

Схема моделируемой ситуации, как замкнутая система массового обслуживания (СМО) представлена на рис. 1. В системе заявки – это автономные БПЛА-роботы. Каждая свободная зона мониторинга является заявкой, обслуживаемой свободным роботом. Выработавшие свой энергоресурс роботы являются заявками для портала зарядки, где каждый порт — это обслуживающий прибор для робота. Рассматривалась гомогенная МРТС, где в качестве прототипов приняты БПЛА типа Inspider, Phantom или DJI Mavic 2 Pro с временем автономной работы 15-25 минут (ими ныне оснащены некоторые подразделения МЧС России). Каждая зона патрулируется одним роботом. Имеется и очередь на зарядку с числом мест -  $K$  (при занятости всех мест в очереди робот покидает очередь и становится в резерв, а его место в мониторинге занимает готовый робот из резерва).

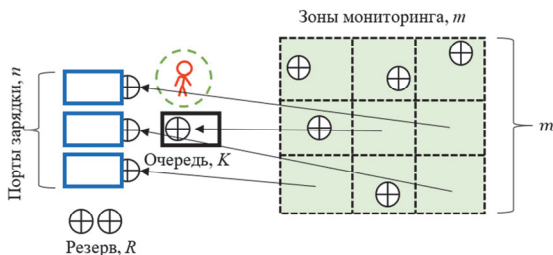


Рисунок 1 — Конфигурация системы мониторинга

В рамках предложенной технологии построены регрессионные зависимости выходных показателей системы (время занятости каждого терминала зарядки, среднее время ожидания в очереди и др. -  $y_1, \dots, y_9$ ) от варьируемых параметров (количество каналов портов зарядки -  $x_3$ , среднее время обслуживания -  $x_2$ , интенсивность поступления роботов на зарядку (определяется емкостью аккумулятора) -  $x_1$ ). Применение многокритериальной оптимизации на основе доминирования позволило для модельных исходных данных определить оптимальные параметры портала зарядки БПЛА:  $x_1^{opt} = 1,23$  1/час;  $x_2^{opt} = 1,18$  час;  $x_3^{opt} = 3$  шт.

Предложенный подход к задачам концептуального проектирования систем мониторинга пожароопасной обстановки на основе

использования БПЛА-роботов, основанный на использовании методов оптимального планирования регрессионных экспериментов на имитационной модели, корреляционном анализе, методах экспертного оценивания и многокритериальной оптимизации, позволяет строить гибкие и удобные в использовании полиномиальные модели, позволяющие, с учетом конкретных текущих потребностей и предпочтений, делать выбор на разных стадиях проектирования из большого спектра конфигураций системы, в том числе и с учетом коллаборации с человеком.

1. Половко С.А., Попов А.В. Перспективы применения гибридных групп мобильных роботов специального назначения // Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции. Труды XXIX Междунар. науч.-тех. конф. СПб: Гангут. 2018. 542 с. С. 25-33.

2. Тачков А.А. Концептуальное проектирование мобильных робототехнических систем на основе статистического имитационного моделирования // Экстремальная робототехника. Труды XXVII Междунар. науч.-тех. конф. СПб: АП4Принт. 2016. 480 с. С. 66-71.

*А.А. Зеленский, Т.Х. Абдуллин, А.В. Аленко*  
**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ  
S-ОБРАЗНОЙ КРИВОЙ РАЗГОНА/ТОРМОЖЕНИЯ ПРИ  
КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

*ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва, zelenskyaa@gmail.com,  
everestultimate@yandex.ru, dtnt1121@gmail.com*

*A.A. Zelensky, T.Kh. Abdullin, A.V. Alepko*  
**FEATURES OF CONSTRUCTING A REAL-TIME S-SHAPED  
ACCELERATION/DECELERATION CURVE WITH  
PIECEWISE LINEAR INTERPOLATION OF COMPLEX-  
SHAPED SURFACES**

*MSTU «STANKIN», Moscow, zelenskyaa@gmail.com,  
everestultimate@yandex.ru, dtnt1121@gmail.com*

Алгоритм планирования скоростей подач является важнейшим компонентом системы числового программного управления (СЧПУ) и оказывает существенное влияние на качество обрабатываемой поверхности при высокоскоростной и высокоточной обработке деталей сложных геометрических форм [1]. Сформированная

в САМ-системе управляющая программа для таких деталей при достаточно хорошей аппроксимации поверхности изделия обычно состоит из множества кадров, формирующих кусочно-ломанную траекторию, где длина каждого сегмента имеет очень малую длину.

Применение наиболее простого трапецеидального метода планирования подач [2] в системе управления имеет ряд серьезных недостатков. По причине того, что траектория перемещения инструмента представляет из себя ломаную кривую, то при её обработке в местах сопряжения сегментов будут наблюдаться разрывы в контурной скорости и резкая смена вектора направления движения, что приводит к снижению точности обработки, динамическим ударам на станок и ухудшению качества обрабатываемой поверхности [1,3]. Поэтому обычно в точках сопряжения сегментов скорость подачи занижают до около нулевых значений, и тогда будет наблюдаться существенное снижение общей производительности и увеличение вибраций на станок, что может привести к его разрушению. Решение обозначенных проблем заключается в использовании метода планирования скоростей подач с ограничением контурного рывка совместно с алгоритмами предпросмотра кадров и сглаживания траектории, включающие в себя параметрическую интерполяцию.

Поскольку время разгона, торможения в системе управления осуществляется за кратное число тактов интерполяции то при соответствующей стратегии округления будет получаться рассогласование контурной скорости и нарушение заданных кинематических ограничений на стыке сегментов [4]. В связи с этим, возникает необходимость в оптимизации скоростей подач для рассматриваемых сегментов траектории.

Планирование скорости подачи представляет из себя нетривиальную задачу оптимизации, которая может быть выполнена при помощи оптимальных по времени методов и решений, близких к оптимальным [3]. Первая группа имеет очень высокую вычислительную сложность и при увеличении размерности оптимизации не будет давать оптимального решения, т.е. при добавлении дополнительных кинематических ограничений. Таким образом, в работе используется оптимизация скорости подачи итерационным методом половинного деления, имеющая меньшую вычислительную сложность, и дающая решение, близкое к оптимальному, не нарушающее при этом заданных кинематических ограничений на рывок и ускорение каждого из звеньев станка.



1. Du X. A complete S-shape feed rate scheduling approach for NURBS interpolator/ X.Du, J. Huang, L.M. Zhu // 2015, Journal of Computational Design and Engineering 2 (2015) 206–217.

2. Абдуллин Т.Х. Алгоритм опережающего просмотра для системы ЧПУ с применением трапецидальных законов разгона/торможения / Т.Х. Абдуллин, М.А. Харьков // 2017 6-8 декабря, «Машиноведение и инновации. Конференция молодых учёных и студентов».

3. Zhong W.B. Toolpath Interpolation and Smoothing for Computer Numerical Control Machining of Freeform Surfaces: A Review / W.B. Zhong, X.C. Luo, W.L. Chang, Y.K. Cai, F. Ding, H.T. Liu, Y.Z. Sun // February 2020, International Journal of Automation and Computing 17(1), 1-16.

4. Ni H., An optimized feedrate scheduling method for CNC machining with round-off error compensation / H. Ni, T. Hu, C. Zhang, S. Ji, Q. Chen // 2018, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2018) 97:2369–2381

*С.А. Матвеев, М.И. Надежин*

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА МОДЕЛЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ  
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, mikhailn131@gmail.com*

*S.A. Matveev, M.I. Nadezhin*

**IMPROVING THE QUALITY OF CLASSIFICATION MODELS  
FOR ELECTRIC MOTOR DIAGNOSTICS**

*Baltic State Technical University «VOENMEH», St. Petersburg,  
mikhailn131@gmail.com*

В решении задач диагностики состояния электромеханических систем в настоящее время считаются эффективными и перспективными подходы, основанные на применении методов машинного обучения. Однако наряду со своей эффективностью большинство методов имеют существенные ограничения для применения во встраиваемых бортовых системах диагностики. Ограничения заключаются в высоких затратах вычислительных ресурсов, а также

памяти вычислительной аппаратуры, что усложняет реализацию подобных методов.

Авторами предложен гибридный алгоритм выделения признаков для повышения качества диагностики электрической части приводного двигателя электронасосного агрегата методами машинного обучения, заключающийся в удалении из исходной выборки признаков с низкой значимостью и сильной корреляцией.

Проведена апробация разработанного алгоритма на данных, полученных в результате исследований лабораторного образца электронасосного агрегата. Получены сравнительные оценки точности и быстродействия методов машинного обучения, позволяющие реализовать представленные алгоритмы во встраиваемых бортовых системах диагностики.

Для модели классификации, обученной методом K-ближайших соседей после применения разработанного алгоритма точность увеличилась с 14% до 100%, быстродействие улучшилось с 9,7 мс до 1,6 мс при сокращении размера обучающей выборки со 158 до 6 признаков.

По результатам работы наиболее значимыми для диагностики электромеханических систем являются спектральные признаки, относящиеся к частотной области. Признаки, относящиеся к временной области, наименее значимы, однако являются важным дополнением к обучающей выборке.

Разработанный алгоритм может быть применен для определения ключевых признаков при решении задач классификации; для локализации возникновения дефектов; для определения наиболее информативных диагностических параметров применительно к конкретным неисправностям электродвигателей.

Данная работа выполнена в рамках НИОКТР комплексного проекта при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-11-2019-077 от 13.12.2019) в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218. Работа выполнена в организации Головного исполнителя НИОКТР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова.

*И.Д. Шабалин, В.В. Желонкин, И.Ю. Проказина, Е.С. Полынцев,  
А.А. Согомоняни, Е.С. Шандаров*

**ПЛАТФОРМА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
ЧЕЛОВЕКОПОДОБНОГО РОБОТА ДЛЯ ИГРЫ В ФУТБОЛ**

*ФГБОУ ВО Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, evgenyshandarov@gmail.com*

*I.D. Shabalin, V.V. Zhelonkin, I.U. Prokazina, E.S. Polyntsev,  
A.A. Sogomonyants, E.S. Shandarov*

**EDUCATIONAL HUMANOID ROBOT PLATFORM  
FOR SOCCER**

*TUSUR University, Tomsk evgenyshandarov@gmail.com*

Соревнования Международного чемпионата по робототехнике RoboCup проводятся в двух больших группах («взрослые» и юниоры) и в нескольких тематических лигах [1]. Одной из наиболее популярных среди участников лиг являются соревнования по футболу роботов. И, если «взрослые» лиги используют в качестве игроков человекоподобных, то юниоры — колесных роботов. До сих пор «входной билет» в футбол антропоморфных роботов обходился очень дорого. Это было связано и со стоимостью оборудования и с высокими требованиями к участникам, что не давало возможности командам юниоров развивать этот соревнований. Тем не менее, интерес к такому виду деятельности в образовательных учреждениях очень высокий, кроме того многие школы РФ уже укомплектованы Д.В. Разработка библиотеки движений для системы управляемого футбола роботов //Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2016, Информационные технологии. 2016. – С. 92.ктованы недорогими платформами человекоподобных роботов.

В работе [2] мы описали концепцию новой лиги «Футбол человекоподобных роботов для юниоров» и базовые требования к платформе робота-футболиста. В данной работе мы развиваем предыдущие тезисы и раскрываем особенности создания недорогой образовательной платформы человекоподобного робота для футбола команд юниоров.

В качестве базовой платформы мы остановили свой выбор на модели Robotis Bioloid. Это робот высотой 44 см. 18 степеней свободы, контроллер CM-530, программирование ведется на C-подобном языке. Главная модификация платформы заключалась в установке двух дополнительных сервоприводов Dynamixel AX-12A

и модуля технического зрения TrackingCam, таким образом была сконструирована «голова» робота. Голова способна направлять камеру в двух координатах, таким образом покрывается вся площадь поля. Камера помещена в корпус, изготовленный из PLA-пластика на 3D-принтере. В корпус интегрирован дополнительный микроконтроллер OpenCM 9.04 для расширения вычислительной мощности робота.

Программное обеспечение робота включает в себя 4 основных модуля: Locomotion, Vision, Navigation, Control.

Для реализации системы движения робота Locomotion нами была использована неадаптивная модель, где сложные движения (ходьба, повороты и др.) реализуются как совокупность последовательного выполнения движений-примитивов [3]. Такие примитивы могут быть легко созданы школьниками в специализированном ПО, прилагаемом к роботам.

Система технического зрения (СТЗ) робота-футболиста Vision должна обеспечивать распознавание объектов, имеющих на поле: мяч, ворота, соперники, разметка и пр. Здесь мы использовали возможности СТЗ TrackingCam и ее базовое ПО TrackingCamApp для ПК.

Навигацию робота на поле обеспечивает ПО модуля Navigation, использующего данные СТЗ и отклонения головы. В ходе игры робот ищет яркий мяч, при нахождении которого, нацеливает камеру на центр массы его цветового пятна [4].

Модуль управления роботом Control определяет стратегию и тактику игры, а также управляет работой всех иных модулей. Блок представляет собой бесконечный цикл. Каждая итерация начинается с проверки не упал ли робот. Далее определяется текущее состояние игры – поиск мяча, следование к мячу, центрирование мяча, удар по мячу, упал.

Используя описанные методики нами был создан прототип платформы робота-футболиста, разработано ПО, реализующее функции полевого игрока и вратаря.

1. Ронжин А. Л., Станкевич Л. А., Шандаров Е. С. Международные соревнования роботов по футболу RoboCup и перспективы участия в них российских команд //Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – №. 2. – С. 24-29.

2. Shandarov E. et al. Humanoid Robot Soccer Player for RoboCup Junior League Competitions //International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – Springer, Cham, 2020. – С. 283-294.

3. Жулаева Д.В. Разработка библиотеки движений для системы управляемого футбола роботов //Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2016, Информационные технологии. 2016. – С. 92.

4. Шабалин И.Д., Шандаров Е.С. Система технического зрения на базе TrackingCam //Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2018. – Ч.1, С. 138.

*А.А. Постольный, Е.В. Савельева, Я.С. Никулин, А.С. Яцун*  
**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ЭКЗОСКЕЛЕТОВ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ  
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*Юго- Западный государственный университет, г. Курск, a.postolny@mail.ru,  
katyasavelkursk@yandex.ru, xeeroox@mail.ru, teormeh@inbox.ru*

*A.A. Postolny, E.V. Savelyeva, Ya.S. Nikulin, A.S. Yatsun,*  
**EXPERIENCE OF APPLICATION OF INDUSTRIAL  
EXOSKELETONS IN MINING ENTERPRISES**

*South-West State University, Kursk, a.postolny@mail.ru,  
katyasavelkursk@yandex.ru, xeeroox@mail.ru, teormeh@inbox.ru*

Применение экзоскелетов в горнодобывающей отрасли является одним из путей для улучшения условий труда рабочих [6,8]. Внедрение экзоскелетов при перемещении сыпучих материалов, предполагает постановку и решение задач по проектированию таких устройств. В общем случае, экзоскелет представляет собой сложную биоэлектромеханическую систему, поэтому разработка методов проектирования должна базироваться на математических моделях процесса подъема груза, с учетом особенностей человека и возможностей электромеханической системы экзоскелета. В материалах данной работы рассматривается опыт применения мягких экзоскелетов Lowebacker (производитель – ООО ЭкзоМед, Россия) и жесткого типов EchoHeaver Active Electric (разработчик – ФГБОУ ВО ЮЗГУ).

Основными технологическими операциями являются: работа с тяжелым ручным инструментом при поднятии, удержании и переноске грузов [3,4]. Представленные типы экзоскелетов минимально ограничивают передвижение оператора в пространстве и способствуют снятию нагрузки с нижних отделов спины.

Испытания экзоскелетов проводились по разработанной методике в режимах подъема груза. На рис. 1 приведены результаты экспертной оценки трех БТШС с тремя различными исполнениями экзоскелета.

Интегральный показатель экспертной оценки  $I_j$  получен путем визуальной оценки площади, описываемой соответствующими кривыми на диаграмме (рисунок 1) и определен по формуле:

$$I_j = \sum_{i=1}^7 \frac{K_j^i}{K_j^{\max}} \cdot \xi_{ij}, \quad (1)$$

где  $j = EP, EGC, EAE$ ,  $\xi_{ij}$  - показатель экспертной оценки  $X_j$

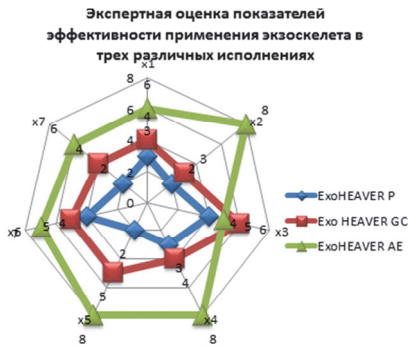


Рисунок 1 – Экспертная оценка показателей качества экзоскелета в трех различных исполнениях

Результаты обработки экспериментов по формуле (1) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Интегральный показатель экспертной оценки показателей качества экзоскелета в трех различных исполнениях: 1) Lowebacker; 2) Exo HEAVER GC; 3) ExoHEAVER AE

Интегральный показатель	Lowebacker	Exo HEAVER GC	ExoHEAVER AE
$I_j$	17,375	27	41

Анализ этих данных показал, что интегральный показатель экспертной оценки, для активного экзоскелета значительно в 2,36 раза превышает интегральный показатель пассивного экзоскелета и в 1,52 раза интегральный показатель экзоскелета с гравитационной компенсацией. В дальнейшем планируется провести экспертную

оценку эффективности мягкого экзоскелетного комплекса по вышеизложенной технологии.

Статья подготовлена в рамках работ по проектам РФФИ №19-31-90118 и Гранта Президента РФ МК-901.2020.8.

1. De Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S., & O'Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59(5), 671-681.

2. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005)>Приложение 15. Методика оценки тяжести трудового процесса

3. Jatsun S.F., Al Maji Kh.Kh.M., Pavlovsky V.E. Analysis of the effect of the exoskeleton geometrical dimensions on the nature of a linear compensator operation /S.F. Jatsun, Al Maji Kh.Kh.M., V.E. Pavlovsky, A.S. Yatsun, A.E. Karlov, E.V. Saveleva // В сборнике по итогам конференции: Developments in eSystems Engineering 2019. Robotics, Sensors and Industry 4.0. Казань 2019

4. Jatsun, S., Saveleva, E., & Al Manji, K. H. M. (2019, September). Research Into Impact of Attachment System of Exoskeleton Link to Human Body on Efficiency of its Application. In 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (pp. 1-5). IEEE.

5. Бухтияров, И. В., Герегей, А. М., Ефимов, А. Р., & Костылева, Е. В. (2020). Промышленные экзоскелеты как средства обеспечения промышленной безопасности. Нормативно-техническое регулирование. Безопасность труда в промышленности, (12), 53-57.

6. Герегей А. М. и др. Современные методы оценки безопасности и физиологической эффективности применения промышленных экзоскелетов //ПРИ УЧАСТИИ Сети ВОЗ по оценке химического риска, RISE, специализированной группы по окружающей среде и неврологии Всемирной федерации неврологов, Университета Страсбурга (Франция), Университета штата Орегон (США), Университета Уппсала (Швеция), Национального института контроля пищевой продукции, Ханой (СРВ). – 2020. – С. 366.

7. Глухов, Д. В. (2020). Научное обоснование современных методов физиолого-эргономической оценки промышленных экзоскелетов.

8. Орлов, И. А., Алисейчик, А. П., Меркулова, А. Г., Комарова, С. В., Белая, О. В., Грибков Д.А., ... & Бетц, К. В. (2019). Актуаль-

ность использования промышленных экзоскелетов для снижения количества профессиональных заболеваний опорно-двигательного аппарата верхней части тела. Медицина труда и промышленная экология, 59(7), 412-416.

9. Экзоскелеты: анализ конструкций, принципы создания, основы моделирования: монография / С.Ф. Яцун, В.Е. Павловский, Б.В. Лушников, О.В. Емельянова, А.С. Яцун, С.И. Савин, А.В. Ворочаев // Юго-Зап. Гос. ун-т. Курск, 2014. - 149 с.

10. Экзоскелеты: анализ конструкций, принципы создания, основы моделирования: монография / С.Ф. Яцун, С.И. Савин, О.В. Емельянова, А.С. Яцун, Р.Н. Турлапов // Курск: Университетская книга, 2015. - 179 с.

*О.Б. Шагниева, С.А. Булов*

#### **АЛГОРИТМ АДАПТАЦИИ К ИЗНОСУ ИНСТРУМЕНТА ПРИ МЕХАНООБРАБОТКЕ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, shagniev\_ob@spbstu.ru*

*O.B. Shagniev, S.A. Bulov*

#### **ALGORITHM FOR ADAPTATION TO TOOL WEAR DURING MACHINING ON THE BASIS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg,  
shagniev\_ob@spbstu.ru*

Доклад посвящён исследованию возможности идентификации и компенсации износа инструмента при механообработке с использованием алгоритмов на базе искусственных нейронных сетей. Сложность и многообразие физико-механических процессов, протекающих в зоне контакта режущего инструмента и заготовки, затрудняют применение стандартных средств измерения и методов диагностики [1]. Одним из основных факторов неопределённости, трудно поддающихся идентификации и влияющих на динамику процесса механообработки, является износ инструмента [2].

Использование искусственных нейронных сетей является одним из путей расширения возможностей адаптивных систем управления. Сложные нелинейные законы изменения параметров системы,



обусловленные износом инструмента, могут быть идентифицированы при помощи искусственной нейронной сети [3-5].

В докладе представлена система управления процессом механообработки с контуром адаптации, построенным на базе искусственной нейронной сети. Проведено обучение нейронной сети в соответствии с выбранным критерием прочности оборудования для механообработки. Входом для обучения искусственной нейронной сети является вектор значений спектра отклика на собственных частотах оборудования для механообработки с наибольшими коэффициентами участия массы, а выходами – оценка глубины резания и экспертная оценка прочности конструкции. Предполагается, что обучение нейронной сети проводится «с учителем». Разработан алгоритм коррекции параметров резания, нацеленный на компенсацию износа инструмента. Проведено математическое моделирование процесса механообработки с учётом различных механизмов износа инструмента. Получены характерные для механообработки на предельных параметрах резания автоколебательные режимы [6]. Продемонстрирована возможность потери устойчивости процесса механообработки. Подтверждена работоспособность контура адаптации, построенного на базе искусственной нейронной сети. Полученные средствами математического моделирования процессы в системе показывают возможность стабилизации процесса механообработки в условиях прогрессирующего износа инструмента.

1. 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.

2. Altintas Y. *Metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design*. 2nd-ed. Cambridge University press. 2012. 382 p.

3. 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.

4. Wu, X.: Automatic Identification of Tool Wear Based on Convolutional Neural Network in Face Milling Process. *Sensors* 19(18), 1-17 (2019).

5. Kilundu, B.: Tool wear monitoring by machine learning techniques and singular spectrum analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing* 25(1), 400-415 (2011).

Б. Шагниев О.Б., Шаньшин И.К., Бурдаков С.Ф. Управление регенеративными автоколебаниями в процессе фрезерования // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2019. № 5. С. 291-298.

*А.В. Кожевникова<sup>1</sup>, А.Д. Дмитриев<sup>2</sup>, О.Л. Власова<sup>1</sup>*  
**НЕЙРОСЕТЕВАЯ ОБРАБОТКА ГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
ЗАТУХАЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ  
ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ БОЛЕВОГО СИНДРОМА**

*<sup>1</sup>Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург; <sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет Телекоммуникаций им. профессора М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, alina-k-spb@yandex.ru, alexdmister@gmail.com, olvlasova@yandex.ru*

*A.V. Kozhevnikova<sup>1</sup>, A.D. Dmitriev<sup>2</sup>, O.L. Vlasova<sup>1</sup>*  
**NEURAL NETWORK PROCESSING OF ATTENUATED  
ELECTRICAL OSCILLATIONS GRAPHIC DATA TO ASSESS  
THE PRESENCE OF PAIN SYNDROME**

*<sup>1</sup>Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg; <sup>2</sup>Saint-Petersburg State University of Telecommunications named after Professor M. A. Bonch-Bruevich, St. Petersburg, alina-k-spb@yandex.ru, alexdmister@gmail.com, olvlasova@yandex.ru*

Нейросетевая обработка всё шире внедряется в современную медицину [1,2]. Опросы врачей подтверждают актуальность создания автоматизированных систем распознавания болевых синдромов [3]. Создание подобной системы становится возможным при использовании методики анализа отклонений затухающих электрических колебаний при измерении в предполагаемой болевой зоне и соседних областях.

Нами произведено обучение сверточной нейросети, основанное на предварительно сжатых графических данных исследуемых колебаний. На данный момент точность нейросети достигает 68%, что говорит о наличии связи между болевым синдромом и анализируемыми данными, рисунок 1.

```
Epoch 7/10
2/2 [*****] - 2s 1s/step - loss: 1.8370 - accuracy: 0.6791 - val_loss: 1.2348
Epoch 8/10
2/2 [*****] - 2s 1s/step - loss: 1.2785 - accuracy: 0.6895 - val_loss: 1.5302
Epoch 9/10
2/2 [*****] - 2s 1s/step - loss: 1.3525 - accuracy: 0.3105 - val_loss: 0.6209
Epoch 10/10
2/2 [*****] - 2s 1s/step - loss: 0.6749 - accuracy: 0.6791 - val_loss: 0.0558
2/2 [*****] - 0s 203ms/step - loss: 0.0383 - accuracy: 0.7358
```

Рисунок 1 – Результаты работы нейросети

Повысить точность работы нейросети возможно увеличением количества обучающих данных, а также с помощью использования ансамбля методов взамен свёрточной нейросети. Подобный экспериментальный анализ позволит верифицировать болевой синдром, осуществлять диагностику детей и людей без сознания, оценивать динамику патологического процесса, а также определить необходимость назначения обезболивающих препаратов.

1. Гусев А.В. – перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения // Искусственный интеллект в здравоохранении – 2017 – №3: 92-105.

2. Mehdy M. M., Shair E. F., Md Saleh N. I., Gomes C. – Artificial Neural Networks in Image Processing for Early Detection of Breast Cancer, Comput // Math Methods Med. – 2017

3. Walter S, Gruss S, Frisch S, et al. "What About Automated Pain Recognition for Routine Clinical Use?" A Survey of Physicians and Nursing Staff on Expectations, Requirements, and Acceptance. // Front Med (Lausanne). 2020 Dec 21;7:566278

*И.И. Смоляков<sup>1</sup>, Л.А. Станкевич<sup>2</sup>*

### **ГИБРИДНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОМОРФНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург; <sup>2</sup>ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, [smol.ivan97@gmail.com](mailto:smol.ivan97@gmail.com), [Stankevich\\_lev@inbox.ru](mailto:Stankevich_lev@inbox.ru)

*I.I. Smolyakov<sup>1</sup>, L.A. Stankevich<sup>1</sup>*

### **HYBRID IMPLEMENTATION OF NEUROMORPHIC SYSTEM FOR ROBOT CONTROL**

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg; <sup>2</sup>Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics (RTC), St. Petersburg, [smol.ivan97@gmail.com](mailto:smol.ivan97@gmail.com), [Stankevich\\_lev@inbox.ru](mailto:Stankevich_lev@inbox.ru)

В настоящее время для управления роботами широко используются искусственные нейронные сети. Традиционно, такие сети строятся на формальных моделях нейронов, которые сильно упрощены по сравнению с их биологическими аналогами. Однако развивались также модели более приближенные к биологии, такие как спайковые нейронные сети (SNN) [1]. Эти сети включают множе-

ство связанных, но независимо работающих биоподобных нейронов, передающих друг другу импульсные сигналы. Обычно в их основе лежат модели искусственных нейронов, описанных дифференциальными уравнениями, например, модель Ижикевича [2].

Проблема SNN заключается в том, что данный подход требует вычисления систем дифференциальных уравнений. Эта задача требует много вычислительных ресурсов, что осложняет внедрение и аппаратную реализацию SNN.

Существующие гибридные нейробиологические модели в основном направлены на аппроксимации различных задач, где можно использовать квантование непрерывных сигналов и не используются для реализации SNN. Так, для аппроксимированных нейросетевых решений используются, например, модели Neo-fuzzy neuron и Extended neo-fuzzy neuron [3,4].

В этой работе используется нейро-нечеткий модуль с кластеризацией и локальным алгоритмом обучения для реализации спайковой модели нейрона Ижикевича. Такая реализация позволяет аппроксимировать в нейро-нечетком базисе решение системы дифференциальных уравнений модели, что дает возможность значительно снизить вычислительные трудности и разработать энергоэффективную аппаратную реализацию нейроморфной сети.

В качестве основы нейрона предложена кластерная нейро-нечеткая модель. Она производит нелинейную трансформацию множества входов в один выход, которая может быть представлена зависимостью (1). На базе таких нейронов предлагается строить нейроморфные сети для систем управления роботами.

$$Y = \text{sign}(w_k) \cup_{j=1}^m |w_i \cap_{j=1}^n \mu_{i,j}(X_j) \quad (1)$$

Работа нейроморфной сети тестировалась на задаче управления движением робота-тележки для сохранения устойчивости установленного на ней обратного маятника (CartPole-проблема). Сеть состоит из 2 нейронов. Один нейрон отвечает за движение влево, другой за движение вправо. На вход подаются значение скорости тележки, угла отклонения маятника от вертикали и его угловая скорость. Положение тележки не учитывалось. Входные параметры преобразуются в спайковые сигналы определённой частоты. Выбор направления движения определяется нейроном с наибольшей частотой выхода. Моделирование показало, что такая сеть после обучения успешно поддерживает балансировку обратного маятника.

В результате данного исследования была разработана выполненная реализация модели биоподобного нейрона на нейро-нечетком базисе. Основные её преимущества – повышенная скорость работы, отсутствие необходимости иметь внутреннее состояние нейрона и возможность энергоэффективной аппаратной реализации нейроморфной сети.

1. Yu, Q., Yan, R., Tang, H., Tan, K.C., Li, H.: A Spiking Neural Network System for Robust Sequence Recognition. *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.* 27, 621–635 (2016). <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2015.2416771>.

2. Izhikevich, E.M.: Simple model of spiking neurons. *IEEE Trans. Neural Netw.* 14, 1569–1572 (2003). <https://doi.org/10.1109/TNN.2003.820440>.

3. Bodyanskiy, Y., Kulishova, N., Chala, O.: The Extended Multi-dimensional Neo-Fuzzy System and its Fast Learning in Pattern Recognition Tasks. *Data.* 3, 63 (2018). <https://doi.org/10.3390/data3040063>.

4. Reid, D., Mueyba, M.: Fuzzification of Spiked Neural Networks. Presented at the Proceedings - EMS 2008, European Modelling Symposium, 2nd UKSim European Symposium on Computer Modelling and Simulation October 8 (2008). <https://doi.org/10.1109/EMS.2008.108>.

***Н.В. Малютин<sup>1</sup>, А.С. Шалумов<sup>2</sup>, М.Д. Чижиков<sup>3</sup>, Ю.Е. Еретин<sup>1</sup>***  
**ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА  
ИЗДЕЛИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ**

*<sup>1</sup>ООО «КБ ИГАС», Москва; <sup>2</sup>ООО «НИИ Асоника» г. Ковров; <sup>3</sup>МГТУ им.  
Н.Э.Баумана, Москва, [mnv220609@mail.ru](mailto:mnv220609@mail.ru), [als140965@mail.ru](mailto:als140965@mail.ru),  
[mig1998@mail.ru](mailto:mig1998@mail.ru)*

***N.V. Malyutin<sup>1</sup>, A.S. Shalumov, M.D. Chizhikov, Yu.E. Eretin<sup>1</sup>***  
**PROSPECTS FOR THE CREATION OF A DIGITAL DOUBLE  
OF THE PRODUCT IN THE DEVELOPMENT OF ROBOTIC  
SYSTEMS**

*<sup>1</sup>«CB IGAS, Moscow; <sup>2</sup>ООО «НИИ АСОНИКА» Kovrov; <sup>3</sup>BMSTU, Moscow,  
[mnv220609@mail.ru](mailto:mnv220609@mail.ru), [als140965@mail.ru](mailto:als140965@mail.ru), [mig1998@mail.ru](mailto:mig1998@mail.ru)*

На конференции «ЭР 2018» был отмечен ряд сдерживающих факторов применения отечественных САПР при проектировании и

испытаниях изделий. Сегодня можно подвести основные итоги развития виртуальной инженерии в приборостроении и разработке робототехники.

Технический комитет 141 «Робототехника» проделал большую работу в развитии современных технологий проектирования и испытаний. Приказом Росстандарта от 22 апреля 2020 г. № 792 создан технический комитет «Системы автоматизированного проектирования электроники» на базе НИИ «АСОНИКА». Выполнен план работ ТК 141 «Робототехника» на 2019 г в части выпуска нормативных документов. Росстандарт утвердил 4 стандарта, разработанные НИИ «АСОНИКА» со сроком ввода в действие 01 марта 2021 года ГОСТ Р 60.0.7.2–2020 «Технология математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на внешние воздействующие факторы», ГОСТ Р 60.0.7.3–2020 «Метод математического моделирования показателей надежности и виртуализации испытаний на надежность базовых элементов робототехнических комплексов при проектировании», ГОСТ Р 60.0.7.4–2020 «Методы математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на электромагнитные воздействия при проектировании», ГОСТ Р 60.0.7.5–2020 «Методы построения баз данных электрорадиоизделий и конструкционных материалов для математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла».

НИИ «АСОНИКА» совместно с ООО «КБ ИГАС» планирует разработать ГОСТ по расчёту стойкости изделий при воздействии спецфакторов.

Минпромторг России оказывал финансовую помощь предприятиям в приобретении комплексов АСОНИКА. В 2020 году был разработан и согласован Государственной корпорацией «Ростех» и Государственной корпорацией «Росатом» проект дорожной карты развития высокотехнологичной области «Новые производственные технологии» (далее – Дорожная карта). В рамках Дорожной карты, направленной на полную замену импортных САПР на отечественные, комплекс АСОНИКА включён в состав 3-х САПР класса САЕ (системы обеспечения инженерных расчётов) и класса ММ (математическое моделирование). Учитывая сложившуюся кооперацию предприятий во главе с НИИ «АСОНИКА» можно ожидать положительных результатов реализации «Дорожной карты» в части касающейся комплекса АСОНИКА.

*А.Е. Архипов, И.С. Фомин*  
**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРЕНОСА СТИЛЯ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО  
ДЕТЕКТОРА**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, a.arkhipov@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru*

*A.E. Arhipov, I.S. Fomin*  
**APPLICATION OF STYLE TRANSFER METHOD TO  
IMPROVE NEURAL DETECTOR TRAINING QUALITY**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC),  
St. Petersburg, a.arkhipov@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru*

Как правило, набор данных для обучения нейронной сети для решения какой-либо задачи начинает формироваться из материала, полученного в определенных условиях, например, в определенное время года. При этом качество распознавания алгоритма в других условиях будет существенно меньше. Интуитивно можно предположить, что обученный на летнем наборе данных алгоритм будет с крайне низким качеством работать зимой. При этом возникает довольно много факторов, ухудшающих работу алгоритма. Например, снегопад может значительно перекрывать объекты на изображении. Кроме того, некоторые объекты могут быть покрыты снегом, как например автомобиль. Также стоит учитывать и объекты, которые могут изменяться в зависимости от времени года. Например, зимой и летом на изображениях люди имеют серьезные отличия за счет разной одежды.

Самым надежным решением данной проблемы будет формирование набора данных в различных временах года. Но далеко не всегда есть возможность сразу получить наборы данных для всех возможных условий, из-за ограничений по времени и других факторов. Для повышения качества работы алгоритма в других временах года можно расширить исходный набор данных путем трансформации имеющихся изображений в изображения других сезонов, используя нейронные сети.

Сегодня существует целое направление в области глубокого обучения под названием нейронный перенос стиля (neural style transfer). Суть данного направления заключается в том, чтобы придать исходному изображению стиль другого изображения. Изначально задача заключалась в переносе именно художественного стиля, то есть стилизация исходной фотографии под картины известных художников. В последующем некоторые авторы развивали

данную идею и пытались стилизовать летние изображения под зимние [1, 2]. Однако, насколько нам известно, помимо демонстрации сгенерированных изображений, никаких дальнейших исследований касательно применимости нейронного переноса стиля для расширения набора данных с целью повышения распознавания в различных временах года нет.

В работе рассматривается расширение летнего набора данных с помощью одного из методов нейронного переноса стиля [3] для повышения качества распознавания на зимнем наборе данных. В качестве объектов распознавания использовались люди, автомобили, фонарные столбы.

Методы нейронного переноса стиля получают на вход два изображения: изображение контента (content image), содержание которого необходимо сохранить, и изображение стиля (style image), стиль которого необходимо перенести на изображение контента. В качестве изображения контента использовались все изображения из летней выборки. В качестве стиля были выбраны четыре изображения, которые применялись к каждому летнему изображению. В работе также исследуется выбор оптимального значения коэффициента  $\alpha$ , позволяющий настроить «количество стиля» на сгенерированном изображении, для используемых изображений стиля. Для оценки получившегося набора данных используется нейронная сеть для обнаружения объектов YOLOv4 [4], которая обучалась поочередно на летнем и сгенерированных наборах данных, а тестирование производилось на реальных зимних изображениях.

1. Zhang F., Wang C. MSGAN: Generative Adversarial Networks for Image Seasonal Style Transfer // IEEE Access. 2020. Т. 8. С. 104830–104840.

2. Penhouët S., Sanzenbacher P. Automated Deep Photo Style Transfer [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: <http://arxiv.org/pdf/1901.03915.pdf> (дата обращения: 28.04.2021).

3. Huang X., Belongie S. Arbitrary Style Transfer in Real-time with Adaptive Instance Normalization [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <http://arxiv.org/pdf/1703.06868.pdf> (дата обращения: 28.04.2021).

4. Bochkovskiy A., Wang C.-Y., Liao H.-Y. M. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <http://arxiv.org/pdf/2004.10934.pdf> (дата обращения: 28.04.2021).



***И.С. Фомин, Н.С. Филатов, В.М. Власенко, Т.Т. Исаков***  
**ОБЛАЧНОЕ СРЕДСТВО АННОТИРОВАНИЯ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ И ОБУЧЕНИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ  
СЕТЕЙ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, i.fomin@rtc.ru, n.filatov@rtc.ru,  
v.vlasenko@rtc.ru, t.isakov@rtc.ru*

***I.S. Fomin, N.S. Filatov, V.M. Vlasenko, T.T. Isakov***  
**CLOUD TOOL FOR IMAGE ANNOTATION AND DEEP  
NEURAL NETWORKS TRAINING**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St.Petersburg, i.fomin@rtc.ru, n.filatov@rtc.ru, v.vlasenko@rtc.ru,  
t.isakov@rtc.ru*

Для того, чтобы использовать и дообучать на своих данных готовые нейронные сети, не говоря уже о том, чтобы разрабатывать с нуля новые архитектуры требуются знания о программировании, знакомство с фреймворком, на котором созданы сети, вычислительные мощности, на которых будет выполняться обучение. Существует много областей, в которых обучение и применение сетей может быть оправдано, но специалисты далеки от знаний, необходимых для использования сетей в своей работе.

Вторая важная проблема применения сетей в подобных областях – отсутствие размеченных наборов данных для обучения сетей решению поставленных задач. Для таких областей, как автовождение, распознавание людей, обнаружение и сегментация повсеместно встречающихся объектов в сложном окружении существуют готовые наборы данных. Для задач распознавания, например, типов деталей, дефектов на промышленном производстве или подсчета птиц во время перелета готовых наборов нет, как и обученных сетей. Исследователи далеки от темы нейросетей и не имеют возможности разбираться, хотя все еще аннотируют данные для своих нужд, и эта разметка часто могла бы быть использована для обучения.

Предлагаемое средство позволит таким людям воспользоваться готовыми сетями или подготовить данные и обучить сети уже для решения своих задач. Облачная структура не предполагает наличия вычислительных мощностей на персональных компьютерах (ПК) исследователя, но позволяет воспользоваться ими при наличии.

Общая схема системы, представленная на рис. 1, состоит из модулей, которые распределены по разным вычислителям и частично

связаны друг с другом по сети и контейнеризованы. Интерфейс пользователя, а также микросервис взаимодействия с пользователем отвечают за показ веб-страницы для просмотра и управления средством, а также за получение информации из базы данных и хранилища, передачу команд на создание экземпляра для расчета, инициацию процесса работы сети остановку этого процесса.

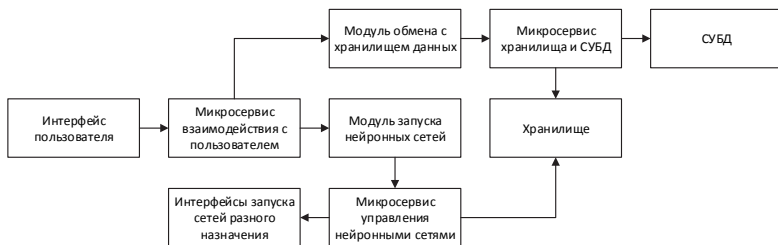


Рисунок 1 – Общая схема системы

Микросервис хранения и СУБД предоставляет интерфейс для обращения других частей облачного средства к данным, содержащимся в базе данных и хранилище, выдавая дозированную информацию в зависимости от запроса, который был передан модулем обмена с хранилищем данных. Хранилище размещается на носителе большого объема, к которому у некоторых модулей есть доступ по сети, для извлечения, добавления или отображения информации. База данных, содержащаяся в СУБД, содержит ссылки на данные, размещенные в хранилище, взаимосвязи между данными, сопутствующую информацию (качество весов, условия обучения и т.д.), а также данные о задачах, которые выполнялись ранее и тегах, маркирующих данные.

Микросервисы управления нейронными сетями могут выполняться одновременно в количестве более одного экземпляра. Их основное назначение – получение команд от интерфейса пользователя и модуля запуска нейронных сетей в составе клиентской части, импорт фреймворка, подготовка нейронной сети заданной архитектуры и настройка ее параметров в зависимости от задачи. Также он осуществляет контроль процесса выполнения задачи, т.е. получает данные о процессе обучения, тестирования или разметки и передает ее модулю запуска нейронных сетей в составе микросервиса взаимодействия с пользователем, который отображает информацию в интерфейсе и передает ее для сохранения в базу данных. По завершении осуществляет копирование результатов в хранилище.

*Л.А. Астапова<sup>1,2</sup>, А.М. Корсаков<sup>1</sup>, А.В. Бахшиев<sup>2</sup>*  
**РАСПОЗНАВАНИЕ ПАТТЕРНОВ СПАЙКОВОЙ  
НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ СО СТРУКТУРНОЙ АДАПТАЦИЕЙ  
СЕГМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОНА**

<sup>1</sup>ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург; <sup>2</sup>ВШАуР, ИММУТ, СПбПУ Петра Велико-  
го, Санкт-Петербург, *astapova.la@yandex.ru; a.korsakov@rtc.ru;*  
*alexab@rtc.ru*

*L.A. Astapova<sup>1,2</sup>, A.M. Korsakov<sup>1</sup>, A.V. Bakhshiev<sup>2</sup>*  
**PATTERN RECOGNITION USING STRUCTURAL  
ADAPTATION OF NEURON SEGMENT MODELS IN SPIKE  
NEURAL NETWORK**

<sup>1</sup>*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,*  
*St. Petersburg;* <sup>2</sup>*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU),*  
*St. Petersburg, astapova.la@yandex.ru; a.korsakov@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

В рамках высокоэффективного нейроморфного подхода наибольшее развитие получили спайковые (импульсные) нейронные сети. Их относят к третьему поколению нейронных сетей, в которых, в отличие от распространённых искусственных нейронных сетей на формальных нейронах, информация кодируется дискретными импульсами (спайками) [1]. Существующие простейшие модели спайкового нейрона [2–4] реализуют основные нейронные операции, но не учитывают особенности строения биологического нейрона (дендритное дерево, сома, синапсы).

В данной работе используется ранее представленная авторами сегментная спайковая модель нейрона с возможностью структурной адаптации [5]. Динамически адаптирующиеся модели нейронов способны обучаться путём автоматического подбора параметров модели нейрона, таких как размер сомы, длина дендритов и количество синапсов на каждом из дендритов, для того, чтобы вызвать временной отклик на выходе в зависимости от входного паттерна, закодированного с использованием временного окна и временных задержек в вектор одиночных спайков, поступающих на отдельный дендрит нейрона. Предложен алгоритм структурной организации моделей нейрона в спайковую нейронную сеть для распознавания произвольного паттерна импульсов, путём введения тормозных синапсов между обученными моделями нейронов.

Для моделирования использовалась ранее предложенная авторами программная платформа [6].

Алгоритм распознавания паттернов оценивался на задаче XOR (исключающего «или») и на задаче классификации набора данных Iris [7] по одному обучающему примеру из каждого класса. Примеры выбирались как приблизительные центры кластеров. Задача XOR демонстрирует способность разрешить случай линейной неразделимости, а экспериментально полученные результаты на наборе данных Iris (таблица 1) и сравнение их с другими существующими к настоящему времени решениями позволяют сделать вывод о применимости предложенной спайковой сегментной модели нейрона в задачах классификации.

Таблица 1 – Общая точность классификация набора данных Iris предложенной спайковой нейронной сетью

	Уверенное распознавание	Ошибка	Неуверенное распознавание	Отсутствие распознавания
Количество	123	4	0	23
Процент	82%	2.67%	0.00%	15.33%

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00913-21-01 «Разработка и исследование новых архитектур реконфигурируемых растущих нейронных сетей, методов и алгоритмов их обучения».

1. Thorpe S., Delorme A., Van Rullen R. Spike-based strategies for rapid processing // *Neural Networks*. 2001. Vol. 14, № 6. P. 715–725.
2. Gerstner W. Time structure of the activity in neural network models // *Phys. Rev. E. American Physical Society*, 1995. Vol. 51, № 1. P. 738–758.
3. Hodgkin A.L., Huxley A.F. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve // *J Physiol*. 1952. Vol. 117, № 4. P. 500–544.
4. Stein R.B. A Theoretical Analysis of Neuronal Variability // *Biophysical Journal*. 1965. Vol. 5, № 2. P. 173–194.
5. Bakhshiev A., Gundelakh F. Mathematical Model of the Impulses Transformation Processes in Natural Neurons for Biologically Inspired Control Systems Development // *CEUR Workshop Proceedings*. 2015. Vol. 1452. P. 1–12.
6. Bakhshiev A.V. et al. The architecture of a software platform for growing spiking neural networks simulator developing // *J. Phys.: Conf. Ser. IOP Publishing*, 2020. Vol. 1679. P. 042001.

7. UCI Machine Learning Repository: Iris Data Set [Electronic resource]. URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/iris> (accessed: 22.04.2021).

*Я.С. Кондрашова<sup>1</sup>, Э.А. Абросимов<sup>1,2</sup>*

**АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ,  
ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

*<sup>1</sup>СПбИТУ, Санкт-Петербург; <sup>2</sup>ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург,  
yanko0806@yandex.ru, e.abrosimov@rtc.ru*

*Ya.S. Kondrashova<sup>1</sup>, E.A. Abrosimov<sup>1,2</sup>*

**SOFTWARE ARCHITECTURE OF A GROUP OF MOBILE  
ROBOTS OPERATING IN EXTREME CONDITIONS**

*<sup>1</sup>SPBSTU, St. Peterburg; <sup>2</sup>Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics, St. Peterburg, yanko0806@yandex.ru, e.abrosimov@rtc.ru*

В условиях экстремально низких температур, тяжёлой проходимости и плохой видимости робототехника решает задачи поиска людей и объектов, транспортировки, эвакуации, разведки. Так как факторы окружающей среды накладывают ряд ограничений на работу и повышают риск аварийной ситуации, целесообразно использовать не отдельных роботов, а группу, непрерывно обменивающуюся информацией друг с другом и с оператором. Помимо повышения вероятности успешного завершения миссии это позволяет охватывать большие территории за то же время.

Таким образом, встаёт задача об организации архитектуры ПО группы роботов и обеспечения взаимодействия роботов группы между собой и с оператором. При этом предполагается использование гетерогенной группы роботов, функционирующих в неизвестных динамически изменяющихся условиях. В основу формирования сценариев поведения подобной группы в данных условиях предлагается положить методы создания онтологий, описанных OWL [1] в редакторе Protégé [2].

В настоящей статье описан ряд схем, наглядно демонстрирующих как общую архитектуру верхнего уровня программного обеспечения, так и архитектуру отдельных модулей

Все модули ПО представлены gos-пакетами и имеют доступ к непрерывно обновляемому состоянию агентов группы и устройств и информации о предварительном контексте.

Архитектурная схема организации верхнего уровня отражает взаимодействие модулей определения контекста и модуля группового управления с системами управления агентами и глобальными семантическими базой объектов и картой.

Основное взаимодействие оператора происходит с модулем «Панель управления» на пульте оператора, который предоставляет возможность отображать, составлять и редактировать миссии, задавать критерии успешности их выполнения, редактировать состав группы, просматривать и редактировать глобальную семантическую карту, просматривать файлы журналов.

План миссии для каждого робота формируется на выходе модуля группового управления модулем планирования на основе текущей семантической карты, её анализа (прогноза), целей миссии, контекста, критерия успешного выполнения миссии.

Модуль определения контекста позволяет на основании анализа состава группы и/или прямого указания оператора определить и/или уточнить контекст выполняемой задачи и подключить соответствующие базы семантического описания объектов, различные предобученные нейронные сети и базы правил, применяемые в тех или иных сценариях.

Агент непрерывно воспринимает окружающую среду с помощью сенсорной подсистемы и изменяет своё положение в ней с помощью исполнительной.

Исполнительная подсистема обеспечивает взаимодействие между верхним и нижним уровнями ПО.

Сенсорная подсистема включает в себя gos-пакеты, обеспечивающие возможность получать данные с камер, микроволнового радара и, по необходимости, с других устройств.

1. OWL Web Ontology Language Guide [Электронный ресурс] // <https://www.w3.org/TR/owl-guide/>

2. Сайт проекта Protégé [Электронный ресурс] // <https://protege.stanford.edu>

*М.Н. Дормидонтова, Н.А. Скрипниченко*  
**ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ  
ГРУППОЙ НАЗЕМНЫХ РОБОТОВ ПРИ ПОИСКЕ  
ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, rita@rtc.ru, natasha@rtc.ru*

*M.N. Dormidontova, N.A. Skripnichenko*  
**DISCRETE-EVENT MODEL FOR CONTROLLING A GROUP  
OF GROUND ROBOTS IN THE SEARCH FOR IONIZING  
RADIATION SOURCES**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, rita@rtc.ru, natasha@rtc.ru*

К сфере экстремальной робототехники относится, в частности, выполнение задач ликвидации последствий аварий и катастроф. Если последствием аварии (катастрофы) является радиационное загрязнение местности, одной из задач, которая может быть поставлена перед группой мобильных роботов (МР), является задача поиска, локализации и изъятия источников ионизирующего излучения (ИИИ). В условиях априорно известных мест нахождения ИИИ для планирования работ применимы методы решения оптимизационных задач. Источником априорной информации о местонахождении ИИИ может быть, например, воздушная разведка местности. Однако, проведение воздушной разведки не всегда возможно, и тогда перед началом выполнения работ имеется только общая информация о зоне загрязнения, а местоположение ИИИ неизвестно. В этом случае организация работы по поиску и изъятию ИИИ существенно усложняется.

Отличительной особенностью ИИИ является их способность формировать пространственное поле излучения. Суперпозиция полей нескольких ИИИ порождает сложную и неоднозначную картину. В [1] рассматриваются вопросы организации работы наземного МР, оснащенного гамма-пеленгатором, который способен запеленговать ИИИ, определить направление на ИИИ, переместиться к нему и обезвредить (например, путём контейнерования). Показано, что при наличии более одного ИИИ в поле зрения гамма-пеленгатора возможны уходы МР с направления на цель и даже проезды МР мимо цели. В случае работы двух и более МР возникает дополнительная проблема: необходимо исключить выход двух и более МР к одному ИИИ, при этом физическая природа данных целей такова, что до изъятия некоторого ИИИ одним МР, он не перестает участвовать в формировании картины поля и, следовательно, не перестает «наблюдаться» остальными МР.

Решение описанной проблемы возможно за счет информационного взаимодействия МР в процессе выполнения работ. С учетом возможности дистанционной пеленгации ИИИИ и для исключения работы нескольких МР по одной цели, целесообразно использовать такой естественный критерий, как ограничение на сближение МР в процессе работы. Предполагается, что между МР имеется обмен информацией, включающей в себя данные о координатах МР, текущих результатах измерений и об успешном завершении операции изъятия. Поскольку в случае изъятия ИИИИ одним из МР изменяется поле излучения, предусматривается остановка остальных МР и выполнение пеленгации в изменившихся условиях. Предлагаемый анализ сближения также повышает безопасность работы в группе, предотвращая столкновение МР. Выполняемые в случае сближения МР действия фактически реализуют жадную стратегию, которая естественным образом получается при применении аукционных методов распределения заданий в группе МР. Алгоритм может быть реализован в виде дискретно-событийной модели. Большую часть времени МР работают независимо друг от друга, но при этом постоянно выполняется проверка некоторых мета-условий, характеризующих складывающуюся ситуацию (сближение МР, пересечение направлений пеленга, близость МР к ИИИИ, успешное завершение изъятия ИИИИ).

Исследование взаимодействия двух наземных МР, оснащенных гамма-пеленгаторами, было проведено на специально разработанной компьютерной модели. Модель позволяет выполнять статистическое моделирование выполнения работ одним МР или группой из двух одинаковых МР, как в случае их совместной, так и независимой работы. Разработанная модель позволяет также оценить относительную эффективность используемого алгоритма по сравнению с алгоритмом, реализующим метод «ближайшего соседа» в условиях ситуационной осведомленности.

Проведенное статистическое моделирование показало существенное улучшение таких показателей, как вероятность успешного выполнения задания, общее время выполнения операции, пройденный путь и накопленная доза для каждого МР группы при работе группы из двух МР по сравнению с работой одного МР.

Работа выполнена в рамках ГЗ №075-00913-21-01 от 29.04.2021 НИР «Методы автоматического синтеза оптимального управления поведением группы роботов на основе ситуационного анализа с применением семантических технологий».

1. Битный-Шляхто В.М., Половко С.А., Куличенко А.Д., Скрипниченко Н.А., Смирнова Е.Ю. Организация взаимодействия



специальных роботов на базе критерия осведомленности // Сборник докладов XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Робототехника и искусственный интеллект», г. Железногорск, Россия. – 2019. – С. 292-297.

***В.М. Битный-Шлякто, И.А. Родин***  
**СУПЕРВИЗОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППЫ  
РОБОТОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, i.rodin@rtc.ru*

***V.M. Bitnyi-Shliakhto, I.A. Rodin***  
**SUPERVISORY CONTROL OF A HETEROGENEOUS GROUP  
OF ROBOTS IN EXTREME SITUATIONS**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, i.rodin@rtc.ru*

В настоящее время за рубежом активно развиваются робототехнические средства, способные заменить людей при выполнении боевых и обеспечивающих операций. Основные исследования направлены на создание комплексов, способных осуществлять эффективную работу в супервизорном режиме, обеспечивающем автоматизированное управление с минимальным участием оператора.

В рамках данной работы рассмотрена гетерогенная группа, состоящая из трех роботов. Низкая автономность робототехнических средств определяет обязательное наличие оператора, отвечающего за управление каждой составной частью комплекса. В ходе проведения работ оператор испытывает значительную когнитивную и физическую нагрузку, находится в режиме постоянного напряжения, что приводит к ошибкам и снижению эффективности выполнения задач.

Общим проблемным вопросом при выполнении сценариев поиска/разведки является обеспечение надежной связи между роботами и постами управления, возможны большие задержки или потеря связи при попытках оператора вмешаться в опасное развитие ситуации. При этом, важным является непосредственное место размещения операторов, обеспечение приемлемых условий их работы и безопасности, в условиях максимального удаления от зоны экстремальной ситуации.

Таким образом, существенным фактором является требование к системам связи, обеспечивающим высокоскоростную передачу

данных для своевременного реагирования оператором на возникающие ситуации.

Указанные проблемы могут быть решены путём повышения уровня автономности группы роботов с использованием супервизорного режима управления. Использование супервизорного режима позволит сократить количество операторов робототехнических комплексов и, в перспективе, обеспечит автономную отработку достаточно сложных оперативных сценариев в условиях экстремальных ситуаций.

Задача по внедрению супервизорного управления, как правило, состоит из пяти этапов:

1. Постановка миссии гетерогенной группы;
2. Оценка степени участия операторов;
3. Оценка автономности системы и роботов;
4. Создание и внедрение информационно-управляющей системы, обеспечивающей разгрузку операторов и позволяющей обеспечить управление группой одним оператором;
5. Обучение оператора.

В качестве общего принципа планирования действий специальных роботов предлагается использовать иерархию миссия-сценарий-технологическая операция (ТОП).

В работе подробно проанализированы этапы внедрения супервизорного управления применительно к группе роботов, решающих задачи ликвидации последствий техногенной аварии.

*Е.К. Игнатиади*

## **КЛАССИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, e.ignatiadi@rtc.ru*

*Е.К. Ignatiadi*

## **SOFTWARE CLASSIFICATIONS FOR ROBOTICS COMPLEX CONTROL SYSTEMS**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Peterburg, e.ignatiadi@rtc.ru*

Работы, связанные с интеллектуализацией систем управления и автоматизации операторской деятельности, являются актуальными

для разрабатываемых робототехнических комплексов. Для системы управления роботами незыблемый принцип – IPDI (Increasing Precision with Decreasing Intelligence) - по мере продвижения от высших к низшим уровням управления понижается интеллектуальность системы, но повышается ее точность [1]. В соответствии с этим программное обеспечение РТК имеет иерархическую структуру.

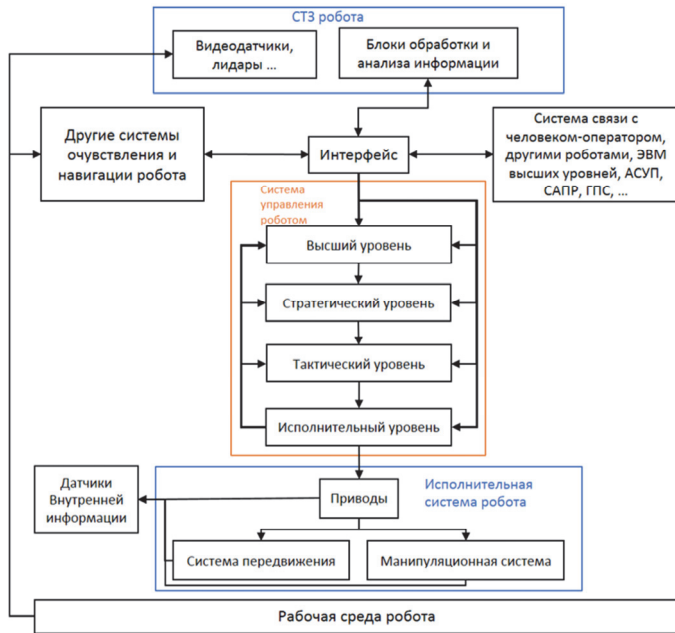


Рисунок 1 – Структурная схема интеллектуальной системы управления мобильным роботом

При разработке РТК необходимо однозначно определять тип управления данным РТК, что позволит классифицировать также и ПО системы управления РТК.

Исполнительный уровень – управляет непосредственно приводами. Решает задачу обеспечения требуемой точности движения для каждой степени подвижности в целях коррекции перемещения рабочих органов робота, учитывая упругости, трения, люфты и другие помехи движению. Представляет собой локальные системы автоматического регулирования координат исполнительных двигателей.

Тактический уровень - преобразует команды в программу управления. Решает задачу непрерывного согласованного расчета

на основе поступившей элементарной команды: построения траекторий, параметров движения (скоростей и ускорений) робота (или манипулятора) и формирует задание для каждого привода исполнительного уровня. Определяет законы согласованного управления во времени всех степеней подвижности механического устройства (мобильного робота) с учетом типа и технических характеристик исполнительных приводов.

Стратегический уровень - планирование движений робота. Решает задачу разделения полученной команды (от высшего уровня) на элементарные задания, которые были бы «понятны» нижним уровням системы управления и формализацию целей управления для каждой из этих команд.

Высший уровень - принятие решений. Решает задачу распознавания окружающей обстановки и анализируя сигналы, поступающие от сенсорной системы, принимает решения о выполнении той или иной операции в условиях неполной информации о внешней среде и объектах работ. Необходимы данные о расположении объектов для построения модели рабочей среды в целях планирования действий. Предполагает техническую реализацию элементов искусственного интеллекта. Обеспечивает создание модели внешней среды и учет предыдущего опыта действий робота, т. е. возможность его самообучения.

Поэтому необходимо определить корректность зависимости уровней сложности систем управления робота, уровней сложности систем технического зрения и типов управления робототехническими средствами и выбрать необходимое программное обеспечение.

С этой целью на виртуальном полигоне возможна апробация программного обеспечения для систем управления робототехнических комплексов для повышения эффективности их производства, унификации технологических операций, за счет снижения затрат на проведение испытаний на реальных полигонах, оптимизации и унификации инженерно-технических решений [2].

1. Saridis G.N. Architectures of Intelligent Controls, Intelligent Control Systems / Ed. M.M. Gupta, N. Sinh, IEEE Press, 1995.

2. Игнатиади Е.К. Петушок И.К. Виртуальный полигон для морских робототехнических средств // доклад / XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективные системы и задачи управления» п. Домбай, Карачаево-Черкесская республика, 2021. С 18.

**КРУГЛЫЙ СТОЛ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»**

---

***И.А. Галкин, П.В. Дробин***  
**АПРОБАЦИЯ МЕТОДИК ЭКСПЛУАТАЦИИ И  
ГРУППОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНОСРЕДНЫХ  
МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В  
ХОДЕ МОРСКОГО ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО  
ЭКСПЕРИМЕНТА**

*Главное управление научно-исследовательской деятельности и технологического сопровождения передовых технологий (инновационных исследований) Министерства обороны Российской Федерации, Москва, gunid@mil.ru*

***I.A. Galkin, P.V. Drobin***  
**APPROBATION OF EXPLOITATION METHODS AND GROUP  
APPLICATION OF VARIOUS MARINE ROBOTICS  
COMPLEXES DURING A MARITIME MILITARY-TECHNICAL  
EXPERIMENT**

*Main directorate of research activities and technological support of advanced technologies (innovative research) of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, gunid@mil.ru*

Во исполнение Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации [1], а также ряда других концептуальных документов по развитию морской робототехники, в Минобороны России разрабатываются оперативно-тактические модели группового применения морских робототехнических комплексов (далее – МРТК) в интересах повышения эффективности действий сил Военно-Морского Флота. Модели разрабатываются в соответствии с последними достижениями предприятий и организаций оборонно-промышленного комплекса в области развития инновационных морских технологий.

Практическая апробация разработанных оперативно-тактических моделей является актуальной и важной задачей, позволяет провести оценку реализуемости предложенных технических и технологических решений, сравнить различные подходы к решению однотипных задач и выбрать перспективные образцы, действующие в реальных условиях наиболее эффективно.

В настоящее время апробация проводится в рамках военно-технических экспериментов. Основная идея таких экспериментов заключается в возможности оценки потенциальных возможностей и целесообразности дальнейшего развития определенных техноло-

гических решений, реализуемых в опытных образцах перспективной военной и специальной техники, до их принятия на снабжение.

В ходе сопровождения инновационных разработок, выполненных организациями Российской Федерации в инициативном порядке, были разработаны методики эксплуатации и группового применения разнородных МРТК в интересах оперативного вскрытия и освещения подводной обстановки в районах развертывания и временного действия сил ВМФ.

Методики группового применения МРТК реализуют оперативно-тактические модели совместного применения групп автономных необитаемых подводных аппаратов (далее – АНПА) и беспилотных летательных аппаратов (далее – БпЛА), действующих в разных средах, в частности за счет организации непосредственного обмена информацией между участвующими в эксперименте перспективными разработками. Реализация разработанных методик, позволила повысить эффективность действий АНПА, действующих под водой, за счет их обеспечения БпЛА, действующих в воздушном пространстве. Апробация методики эксплуатации МРТК позволила обеспечить непрерывные действия аппаратов, своевременно получать информацию об их техническом состоянии в формате времени, близком к реальному.

Морской военно-технический эксперимент проводился в период с 26 по 30 июля 2020 г. в акватории Черного моря с задействованием экспериментальной базы Военного инновационного технополиса «ЭРА» (г. Анапа).

В ходе эксперимента проводилась оценка возможности построения быстро развертываемых систем освещения подводной обстановки в интересах борьбы с малоразмерными целями, в том числе автономными необитаемыми подводными аппаратами противника и подводными диверсантами [2].

К участию в эксперименте привлекались 9 организаций России [3].

На первом этапе эксперимента было проведено оперативное построение быстроразвертываемой системы освещения подводной обстановки (далее – Система). В качестве элементов Системы были задействованы БпЛА, АНПА, гидроакустические буи (МРГАБ) и мобильные гидроакустические станции (МГАС). Посредством Системы был сформирован «сплошной» подводный барьер, реализованы методы межсредной ретрансляции сигналов управления и обмена информацией, позволяющие организовать связь с подводными аппаратами по атмосферным линиям радиосвязи.

Целью второго этапа стало своевременное обнаружение условного противника, его классификация и выдача целеуказания на применение по нему средств уничтожения. Совместное действие МРГАБ, МГАС и АНПА позволили произвести обнаружение и первичную классификацию целей, выдать целеуказание автономным необитаемым подводным и беспилотным летательным аппаратам на идентификацию целей. Были отработаны методики группового применения МРТК в части совместного решения задач различными робототехническими комплексами, подтверждено повышение эффективности решения ряда специальных задач за счет повышения оперативности управления и сокращения времени на передачу информации об обнаруженных объектах.

Морской военно-технический эксперимент позволил провести оценку функциональных возможностей перспективных технических средств, разработанных предприятиями России в инициативном порядке, проверить возможность построения быстроразвертываемой системы освещения подводной обстановки, организовать межсреднюю передачу информации между элементами Системы, уточнить ее характеристики, а также провести оценку технических и технологических решений, реализованных в ряде инновационных разработок.

1. Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года утвержденное распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2019 года №1930-р.

2. Начальник Главного управления научно-исследовательской деятельности Минобороны России доложил о результатах работы Комиссии по инновационным проектам в 2020 году [Электронный ресурс]. URL: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12326659](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12326659). (дата обращения: 11.05.2021).

3. Проведен военно-технический эксперимент по построению быстроразвертываемой системы освещения подводной обстановки [Электронный ресурс]. URL: <https://fpi.gov.ru/press/news/proveden-voenno-tekhnicheskiy-eksperiment-po-postroeniyu-bystrorazvertyvaemoy-sistemy-osveshcheniya/>. (дата обращения: 11.05.2021).

*А.И. Жуков*

**ОБ ОПЫТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАДВОДНЫХ  
ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ АППАРАТОВ (АНГ) И  
ПЕРСПЕКТИВАХ МАССОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОРСКИХ  
РОБОТОВ**

*Федеральное казенное учреждение «280 Центральное картографическое  
производство Военно-Морского Флота РФ», Санкт-Петербург,  
jukov\_muniz@mail.ru*

*A.I. Zhukov*

**ABOUT THE USE EXPERIENCE SURFACE HYDROGRAPHIC  
DEVICES (ANG) AND THE PROSPECTS OF MASS USE OF  
MARINE ROBOTS**

*Federal state institution «280 central cartographic production of the navy»,  
St. Peterburg, jukov\_muniz@mail.ru*

В июне 2020 года генеральный директор ЦКБ МТ «Рубин» Игорь Вильнит сообщил о том, что планируется создание глобальной сети из подводных и надводных автономных необитаемых аппаратов, а также беспилотных летательных аппаратов для широко-масштабных научных исследований.

В декабре 2020 году утвержден ГОСТ Р60.07.1-2020 «Робототехнические комплексы морского назначения». В нём признаются подводные аппараты, роботизированные безэкипажные суда и катера, а надводные аппараты (дроны) не упомянуты.

Использование существующих автомобилей, катеров, самолетов в качестве роботов возможно при установке на них аппаратуры для автоматического управления, но такое решение не обеспечивает возможности массового строительства и применения роботов?

«Луноход» не является легковым автомобилем, «спутник» – не самолет и не ракета. «Телеуправляемые подводные аппараты» (ТПА) не похожи на подводные лодки, т.к. не предназначены для дальнего плавания или движения с высокой скоростью. Они требуют подачи энергии и управления с судна.

Начиная с 1980 года в Гидрографической службе ЧФ и СФ накоплен опыт использования специальных плавучих средств катamarанного типа – надводных гидрографических аппаратов (АНГ), которые были созданы с целью автоматизации процесса выполнения гидрографических работ, снижения количества персонала и размеров самого аппарата, как «носителя аппаратуры». На рисунке 1 представлены испытания управляемого буксируемого профило-



графа «ЗОНД», разработанного ОКБ океанологической техники РАН, с помощью АНГ.



Рисунок 1 – Испытания управляемого буксируемого профилографа «ЗОНД»

Теперь есть возможность программировать задания по съемке рельефа дна или для выполнения других задач. Это позволяет использовать не только минимальные по габаритам автономные аппараты, но и обеспечить их высокие мореходные и маневренные качества и повысить автономность.

Таким образом, для решения задачи массового применения морских роботов требуется использование специального носителя. Морские надводные аппараты (), обеспечивающие размещение робототехнического комплекса и широкого спектра различного по назначению оборудования позволяют, решает поставленные задачи. Простейший «Акваробот» из конструктора ЛЕГО представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Освоение основ морской робототехники. Соревнования «Аквароботов» в Центре робототехники Президентского физико-математического лицея № 239 в Санкт-Петербурге

Требуется: Признание и включение в ГОСТ понятия «надводный аппарат», что позволит разработать семейство таких носителей и обеспечить их массовое производство и применение.

***А.И. Машошин, И.В. Пашкевич, В.А. Потанов, Н.А. Шалаев***  
**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ**  
**РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ**  
**НА АВТОНОМНЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ**  
**АППАРАТЫ**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург,  
mashoshin\_ai@elprib.ru*

***A.I. Mashoshin, I.V. Pashkevich, V.A. Potapov, N.A. Shalaev***  
**CHALLENGES IN TESTING THE RADIOELECTRONIC**  
**SYSTEMS INSTALLED ON UNDERWATER UNMANNED**  
**AUTONOMOUS VEHICLES**

*JSC «Concern «TsNII «Elektropryor», St. Petersburg, mashoshin\_ai@elprib.ru*

Автономные обитаемые подводные аппараты (АНПА) являются одним из наиболее перспективных средств изучения и освоения Мирового океана [1-10].

Современные АНПА насыщены большим количеством радиоэлектронных систем (РЭС), обеспечивающих решение задач управления, навигации, радио и гидроакустической связи, обеспечения безопасности плавания, поиска различных объектов на дне и в толще воды, измерения параметров среды. Особенно выделяются АНПА тяжёлого класса, которые по своему оснащению аппаратурой и решаемым задачам приближаются к подводным лодкам [11].

РЭС (как и другая аппаратура), устанавливаемая на АНПА, должна в соответствии с нормативными документами пройти полный цикл испытаний, завершающийся испытаниями в реальных морских условиях. И тут возникает проблема, заключающаяся в том, что существующие методики морских испытаний РЭС не предназначены для испытаний автоматически функционирующей аппаратуры, к тому же установленной на беспилотном подводном носителе.

В процессе проведения морских испытаний АНПА должны быть проверены:

- правильности работы системы управления в типовых ситуациях (движение по маршруту, проведение обсерваций различными способами, расхождение с движущимися подводными и надводными объектами, обход неподвижных подводных препятствий, выполнение заданий по поиску назначенных объектов, выявление аварийных ситуаций и действия при их возникновении);
  - точность автономной подводной навигации;
  - дистанция устойчивой двусторонней радио и гидроакустической связи;
  - дистанция обнаружения, вероятность правильной классификации и точность определения координат неподвижных донных объектов различного размера и конфигурации;
  - дистанция обнаружения, вероятность правильной классификации и точность определения координат движущихся подводных и надводных объектов разных классов;
  - точность измерения параметров среды;
  - надёжность аппаратной части и программного обеспечения систем АНПА.

В докладе содержатся предложения, как проводить перечисленные проверки, а также предложения по оборудованию полигона испытаний, чтобы исключить потерю АНПА в процессе испытаний.

Для проведения корректных испытаний систем АНПА с выполнением перечисленных выше проверок необходимо обеспечить:

- контролируемые условия испытаний;
- архивацию данных, характеризующих условия испытаний и полученные результаты.

Анализ показывает, что для каждой из перечисленных выше проверок (группы проверок) задача обеспечения контролируемых условий испытаний должна решаться индивидуально.

Наибольшую сложность имеет проверка правильности работы системы управления в типовых ситуациях. Предлагается проводить её в 2 этапа: сначала осуществляется углублённая проверка функционирования системы управления во всевозможных ситуациях на специализированном стенде моделирования, а затем для тех ситуаций, которые можно воссоздать в море, проверки повторяются в реальных условиях. В докладе приведён состав стенда и требования к его функциональности.

В реальных условиях могут быть проведены следующие проверки функционирования системы управления АНПА:

- точность движения по маршруту;

- точность обсервации по сигналам спутниковых и радио навигационных систем;
- точность обсервации по сигналам донных маяков-ответчиков;
- вероятность обнаружения и точность определения координат назначенного донного объекта;
- дистанция устойчивой двусторонней радио и гидроакустической связи.

Проверки гидроакустической аппаратуры предлагается проводить до установки её на АНПА на специально оборудованном гидроакустическом полигоне.

Для выполнения проверок, выполняемых в процессе испытаний АНПА, он должен быть оснащён встроенной системой архивации, записывающей в неразрушаемую долговременную память с привязкой ко времени и текущим координатам всей информации, циркулирующей в системе управления АНПА.

Оборудование полигона испытаний должно обеспечить:

- контроль за перемещениями АНПА под водой;
- передачу на АНПА команд управления;
- получение от АНПА сообщений о выполнении плановых заданий либо о возникновении нештатной ситуации.

В состав такого оборудования должны входить:

- система позиционирования с длинной базой, включающая 4-5 гидроакустических маяков-ответчиков;
- не менее двух гидроакустических модемов с функцией позиционирования на основе ультракороткой базы;
- автономный надводный необитаемый аппарат (АННА), оборудованный GPS/GLONASS-приёмником, вперёдсмотрящим гидролокатором, гидролокатором бокового обзора, аппаратурой гидроакустической и радио связи, для слежения за АНПА и обмена информацией с ним по комбинированному радио-гидроакустическому каналу и с береговым (корабельным) постом по радиоканалу;
- береговой (корабельный) пост, оборудованный аппаратурой радиосвязи с АНПА и АННА и компьютером для отображения местоположения АНПА и АННА.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-08-00253).

1. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф. Подводные робототехнические

комплексы: системы, технологии, применение. Владивосток: Даль-наука, 2018. 368 с.

2. Инзарцев А.В. и др. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике. Подводные исследования и робототехника, 2007, №2(4), с.5-14.

3. Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А. Мобильные подводные роботы в современной океанографии и гидрофизике. – Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2010, том 3, №1, с.4-13.

4. Боженков Ю.А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики. – Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2011, том 4, №1, с.4-68.

5. Millar G., Mackay L. Maneuvering under the ice. – Sea technology, 2015, vol. 56, No. 4, pp.35-38.

6. Илларионов Г.Ю., Сиденко К.С., Бочаров Л.Ю. Угроза из глубины: XXI век.- Хабаровск: КГУП «Хабаровская краевая типография», 2011. - 304с.

7. Белоусов И. Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС США. – Зарубежное военное обозрение, 2013, №5, с.79-88.

8. Викторов Р.В., Илларионов Г.Ю., Квашнин А.Г. Двойное применение автономных необитаемых подводных аппаратов типа «REMUS». – Двойные технологии, 2010, № 3.

9. Кузьмицкий М.А., Гизитдинова М.Р. Мобильные подводные роботы в решении задач ВМФ: Современные технологии и перспективы. – Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2011, том 4, №3, с.37-48.

10. Jane's unmanned maritime vehicle, 2019–2020, Ed. Kelvin Wong, IHS Markit, 2020.

11. Аполлонов Е.М., Бачурин А.А., Горохов А.И., Пономарев Л.О. О возможности и необходимости создания сверхбольшого необитаемого подводного аппарата // Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». Ростов-на-Дону – Таганрог: ЮФУ, 2018. С. 34–42.

*Л.А. Мартынова, Т.А. Гриненкова*

## **МЕТОД ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА АНПА**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург,  
martynowa999@bk.ru, t\_silina@bk.ru*

*L.A. Martynova, T.A. Grinenkova*

## **METHOD FOR ASSESSING THE RISK OF EMERGENCY SITUATION ON AUV**

*JSC «Concern «TsNII «Elektropribor», St. Petersburg, martynowa999@bk.ru,  
t\_silina@bk.ru*

Рассмотрено применение автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) для преодоления сверхдальних расстояний в течение длительного времени [1], при котором АНПА работает в критических и запредельных режимах, что может привести к аварийной ситуации [2]. В связи с этим еще до начала выполнения маршрутного задания возникает задача оценки риска возникновения аварий на АНПА. Ввиду отсутствия достаточной статистики по авариям на АНПА традиционные подходы не могли быть использованы.

Предложенный метод основан на определении вероятности возникновения аварии и наносимого ею ущерба.

В основу предложенного метода оценки риска положены: учет надежности комплектующих, возможность в случае отказа оборудования реконфигурации системы управления, направленной на дублирование отказавших устройств [3], использование метода статистических испытаний (метод Монте-Карло) [4], обеспечивающий возможность учета надежности отдельных устройств АНПА.

Результаты численных экспериментов позволили оценить влияние надежности устройств автономного необитаемого подводного аппарата на риск возникновения аварии и допустимую продолжительность маршрутного задания для безаварийного плавания. Предложенный метод и результаты моделирования могут быть использованы для прогнозирования безаварийного выполнения маршрутного задания и своевременного принятия мер по снижению риска возникновения аварийной ситуации.

Результаты были получены в рамках выполнения проекта № 20-08-00130 Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

1. Аполлонов Е.М., Бачурин А.А., Горохов А.И., Пономарев Л.О. О возможности и необходимости создания сверхбольшого

необитаемого подводного аппарата // Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». Ростов-на-Дону – Таганрог: ЮФУ, 2018. С. 34–42.

2. Фаустова О.Г. Разработка методики интегральной оценки и управления риском возникновения чрезвычайных ситуаций для повышения безопасности морских и мультимодальных грузоперевозок Интернет-ссылка[http://www.klgtu.ru/upload/science/diss/d\\_307\\_007\\_02/faustova.pdf](http://www.klgtu.ru/upload/science/diss/d_307_007_02/faustova.pdf)

3. Мартынова Л. А., Розенгауз М. Б. Подход к реконфигурации системы управления движением автономного необитаемого подводного аппарата // Гироскопия и навигация. Том 28. №2 (109), 2020. с.131-146.

4. Картвелишвили В. М., Свиридова О. А. Риск-менеджмент. Методы оценки риска. М. ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова». 2017.121с.

*Е.В. Глазунова, А.А. Деулин, А.В. Герасимов*  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖИТЕЛЕЙ В ИНТЕРЕСАХ  
РАСЧЕТА ДИНАМИКИ УПРАВЛЯЕМОГО АППАРАТА  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА ПРОГРАММ «ЛОГОС»**

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Нижегородская обл.,  
evglazunova@vniief.ru*

*E.V. Glazunova, A.A. Deulin, A.V. Gerasimov*  
**MODELING OF PROPELLERS IN THE INTERESTS OF  
CALCULATING THE DYNAMICS OF THE CONTROLLED  
VEHICLE USING THE SOFTWARE PACKAGE «LOGOS»**

*FSUE RFNC - VNIIEF, Sarov, Nizhny Novgorod region, evglazunova@vniief.ru*

Моделирование движителей является одной из важнейших составляющих расчета динамики управляемого аппарата.

В работе представлены возможности пакета программ «Логос» [1] для моделирования движителей подводных аппаратов. В первую очередь, это нахождение гидродинамических характеристик винта, определяемых в условии его работы при постоянной частоте вращения и равномерном набегании вязкой жидкости при различных скоростных режимах (нахождение кривых действия винта). В данном случае моделирование проводится на базе трех-

мерной геометрии движителя с применением одной из расчетных технологий: «Вращение региона», «Сетки с перекрытием» и «Сетки со скольжением».

Вторым подходом к моделированию движителей в пакете программ «Логос» является имитация его работы на базе уже существующих кривых действия винта. Такой подход позволяет избежать «прямого» моделирования вращения движителей при расчете динамики аппарата, что является крайне ресурсоемким в случае наличия нескольких винтов.

Для моделирования параметров движения аппарата предлагается использование двухэтапного подхода:

1. Определение кривых действия винтов управляемого аппарата.
2. Имитация работы движителей с применением полученных ранее кривых действия.

В работе приведены описания технологий моделирования движителей в пакете программ «Логос», представлены примеры их применения на модельных задачах.

1. Козелков А.С., Дерюгин Ю.Н., Зеленский Д.К., Полищук С.Н., Лашкин С.В., Жучков Р.Н., Глазунов В.А., Яцевич С.В., Курулин В.В. Многофункциональный пакет программ Логос: Физико-математические модели расчета задач аэро-, гидродинамики и теплопереноса. Препринт № 111. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2013

*Н.А. Щур*

## **ОПЫТ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ БИОМОРФНЫХ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, koliambos@mail.ru*

*N.A. Tschur*

## **EXPERIENCE IN NUMERICAL SIMULATION OF HYDRODYNAMICS OF BIOMORPHIC UNDERWATER ROBOTS**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC),  
St. Petersburg, koliambos@mail.ru*

В докладе представлены результаты численного моделирования динамики движения и гидродинамики обтекания биоморфных под-



водных роботов. В качестве примеров рассмотрены змееподобный [1] и рыбоподобный роботы. Для моделирования динамики указанных роботов разработаны алгоритмы деформации поверхности и сетки для змееподобной и рыбоподобной деформации. Уравнения динамики робота и динамики жидкости решаются совместно.

Показана зависимость скорости движения змееробота в воде от параметров его змееподобной деформации. Сделана оценка КПД при змееподобном перемещении в воде. Показано что КПД увеличивается с увеличением амплитуды змееподобной деформации. Однако даже для значительных амплитуд КПД змееподобного движения не превышает 10%.

Для рыбоподобного робота показано влияние «гибкости» хвоста на динамику движения. Выявлена неустойчивость движения по дифференцу для малых значений метацентрической высоты. Продемонстрирована возможность управления по курсу.

*А.В. Зувев<sup>1,3</sup>, А.Н. Жирабок<sup>1,3</sup>, В.Ф. Филаретов<sup>2,3</sup>,  
А.Е. Шумский<sup>3</sup>, А.А. Проценко<sup>1</sup>*

#### **МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМАХ**

*<sup>1</sup>Институт проблем морских технологий ДВО РАН; <sup>2</sup>Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН; <sup>3</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, [filaret@iacp.dvo.ru](mailto:filaret@iacp.dvo.ru), [zuev@marine.febras.ru](mailto:zuev@marine.febras.ru), [zhirabok@mail.ru](mailto:zhirabok@mail.ru)*

*A.V. Zuev<sup>1,3</sup>, A.N. Zhirabok<sup>1,3</sup>, V.F. Filaretov<sup>2,3</sup>,  
A.E. Shumsky<sup>3</sup>, A.A. Protsenko<sup>1</sup>*

#### **FAULT IDENTIFICATION IN NON-STATIONARY SYSTEMS**

*<sup>1</sup>Institute of Marine Technologies Problems FEB RAS; <sup>2</sup>Institute of Automation and Control Processes FEB RAS; <sup>3</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, [filaret@iacp.dvo.ru](mailto:filaret@iacp.dvo.ru), [zuev@marine.febras.ru](mailto:zuev@marine.febras.ru), [zhirabok@mail.ru](mailto:zhirabok@mail.ru)*

Одной из задач функционального диагностирования является задача идентификация дефектов [1], последние годы для ее реализации активно применяется подход, основанный на наблюдателях, работающих в скользящем режиме (скользящие наблюдатели). Скользящие наблюдатели применяются для решения задачи идентификации дефектов в линейных [2, 3] и нелинейных [4, 5] системах, для обеспечения отказоустойчивого управления [6]. Во всех

таких работах на исходную систему накладывается ряд ограничений, в частности, требуется, чтобы выполнялось так называемое условие согласования, и система была минимально фазовой.

Для ослабления условия согласования были предложены методы, использующие скользящие наблюдатели высокого порядка [7] и каскадное соединение наблюдателей [8], но при этом система должна быть минимально фазовой. Отметим, что в известных работах скользящие наблюдатели строятся на основе исходной системы и, следовательно, имеют размерность, совпадающую с размерностью этой системы. В настоящей работе предложен метод, позволяющий учитывать не стационарность системы.

Рассмотренный подход обеспечивает идентификацию дефектов в нестационарных мехатронных системах, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями, в присутствии возмущений на основе наблюдателей, работающих в скользящем режиме. Скользящий наблюдатель строится на основе редуцированной (имеющей меньшую размерность) модели исходной системы, обладающей избирательной чувствительностью по отношению к дефектам и возмущению. За счет введения такой модели и канонической формы описывающих ее матриц удалось упростить анализ условий возникновения скользящего режима и ослабить условия существования скользящих наблюдателей по сравнению с известными работами. Эффект ослабления указанных условий возник за счет того, что модель пониженной размерности может не иметь тех свойств, которые присутствуют в исходной системе и препятствуют возможности построения для нее скользящего наблюдателя.

Для проверки эффективности предложенного метода было проведено моделирование, на примере идентификации дефектов в электроприводе многозвенного манипулятора, описываемого сложными нелинейными дифференциальными уравнениями с переменными параметрами. Результаты моделирования подтвердили работоспособность и эффективность предложенного метода.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 20-38-70161), а также частично стипендией Президента РФ, СП-3252.2019.5.

1. Мироновский Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем. М.-СПб.: МГУ-ГРИФ, 1998.

2. Жирабок А.Н., Зуев А.В., Шумский А.Е. Методы идентификации и локализации дефектов в линейных системах на основе скользящих наблюдателей // Изв. РАН. ТиСУ. 2019. № 6. С. 73–89.

3. Edwards C., Spurgeon S. On the Development of Discontinuous Observers // International J. Control. 1994. V. 59. P. 1211-1229.

4. Жирабок А.Н., Зуев А.В., Шумский А.Е. Метод идентификации дефектов в нелинейных системах на основе скользящих наблюдателей // Изв. РАН. ТИСУ. 2021. № 1. С. 11-23.

5. He J., Zhang C. Fault reconstruction based on sliding mode observer for nonlinear systems // Math. Problems in Eng. 2012. Vol. 2012. ID 451843. P. 1-22.

6. Mao Z., Yan X.-G., Jiang B., Chen M. Adaptive Fault-Tolerant Sliding-Mode Control for High-Speed Trains With Actuator Faults and Uncertainties // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. Vol. 21. № 6. P. 2449 – 2460.

7. Floquet T., Edwards C., Spurgeon S. On sliding mode observers for systems with unknown inputs // Int. J. Adapt. Contr. and Signal Proc. 2017. Vol. 21. P. 638-56.

8. Tan C. Edwards C. Robust fault reconstruction using multiple sliding mode observers in cascade: development and design // Proc. of American Contr. Conf. St. Louis, USA, 2009. P. 3411-3416.

***В.Ф. Филаретов<sup>1,3</sup>, Д.А. Юхимец<sup>1,3</sup>, А.В. Зуев<sup>2,3</sup>, А.Н. Жирабок<sup>3</sup>***  
**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНЫХ  
НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ С  
АККОМОДАЦИЕЙ К ДЕФЕКТАМ В ИХ ДВИЖИТЕЛЯХ**

*<sup>1</sup>Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН; <sup>2</sup>Институт проблем морских технологий ДВО РАН; <sup>3</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, [filaret@iacp.dvo.ru](mailto:filaret@iacp.dvo.ru), [zuev@marine.febras.ru](mailto:zuev@marine.febras.ru), [zhirabok@mail.ru](mailto:zhirabok@mail.ru)*

***V.F. Filaretov<sup>1,3</sup>, D.A. Yukhimets<sup>1,3</sup>, A.V. Zuev<sup>2,3</sup>, A.N. Zhirabok<sup>3</sup>***  
**THE DEVELOPMENT OF AUV CONTROL SYSTEM WITH  
ACCOMMODATION TO THRUSTER FAULTS**

*<sup>1</sup>Institute of Automation and Control Processes FEB RAS; <sup>2</sup>Institute of Marine Technologies Problems FEB RAS; <sup>3</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, [filaret@iacp.dvo.ru](mailto:filaret@iacp.dvo.ru), [zuev@marine.febras.ru](mailto:zuev@marine.febras.ru), [zhirabok@mail.ru](mailto:zhirabok@mail.ru)*

Для эффективного выполнения различных подводных операций Автономных обитаемых подводных аппаратов (АНПА) должны иметь высококачественные системы управления, которые обеспе-

чат их точное движение как по пространственным траекториям, формируемым в процессе их передвижения к объектам, так и при выполнении сложных маневров вблизи объектов подводной инфраструктуры. При этом необходимым условием точного движения АНПА является корректная работа их движительных комплексов, динамика которых оказывает существенное влияние на точность работы систем управления АНПА.

В настоящее время уже создано большое количество методов синтеза систем управления движением АНПА [1-2]. Эти методы могут использовать упрощенные или линеаризованные математические модели динамики АНПА, описывающие их движения по отдельным степеням свободы. Недостатком подобных систем управления, отмечаемым многими исследователями, является существенное ухудшение показателей качества их управления при изменении в процессе перемещения по пространственным траекториям с одновременным изменением нескольких линейных и угловых координат или параметров АНПА, а также при изменении их параметров в процессе движения.

Одними из наиболее эффективных типов систем управления сложными нелинейными динамическими объектами с неизвестными или переменными параметрами являются системы с разрывным управлением, к которым относятся системы с переменной структурой. Системы этого типа часто используются для высокоточного управления пространственным движением АНПА различных типов [3]. Однако указанные методы часто не учитывают динамику движительного комплекса АНПА. Кроме того, из-за возникновения различного рода дефектов (наматывание водорослей на винт, изменение параметров движителей, ошибок в показаниях датчиков угловых скоростей и т.д.) характеристики движителей могут меняться, что будет приводить к некорректному формированию управляющих сил и моментов. Указанные эффекты можно учитывать в виде неопределенностей динамики движительного комплекса при синтезе систем управления, однако это будет приводить к постоянному формированию сигналов управления повышенной амплитуды, которые будут компенсировать эти возможные дефекты, что приведет к уменьшению времени автономной работы АНПА. Поэтому компенсацию возникающих дефектов движителей желательно проводить только в случае их реального возникновения и на величину, точно требуемую для этой компенсации [4].

В докладе предлагается новый метод синтеза системы управления пространственным движением АНПА, обеспечивающей высо-

кую точность движения АНПА в условиях неопределенности или переменности их параметров, а также в случае возникновения дефектов, в движителях АНПА. При этом дополнительные сигналы, компенсирующие указанные дефекты, формируются только в случае их обнаружения, что позволяет снизить амплитуду сигналов управления в нормальном режиме работы.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 20-38-70161 и 19-08-00347).

1. Koofgar H.R. Adaptive control of underwater vehicles with unknown model parameters and unstructured uncertainties // Proc. of the 2012 SICE Annual Conference (SICE), Akita, 2012. P. 192-196.

2. Lei M. Nonlinear diving stability and control for an AUV via singular perturbation // Ocean Engineering. 2020. Vol. 197. № 1. ID 106824.

3. Filaretov V., Yukhimets D. Synthesis Method of Control System for Spatial Motion of Autonomous Underwater Vehicle // International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM). 2012. Vol. 3. № 3. P. 133-141.

4. Жирабок А.Н., Зуев А.В., Шумский А.Е. Методы диагностирования линейных систем на основе скользящих наблюдателей // Изв. РАН. ТИСУ. 2019. № 6. С. 73–89

***А.В. Проконич, Е.Н. Павлова***

### **АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДВОДНОГО ВИДЕНИЯ**

*АО «Научно-исследовательский институт телевидения, Санкт-Петербург,  
prokonicha@mail.ru*

***A.V. Prokonich, E.N. Pavlova***

### **ADAPTIVE UNDERWATER VISION SYSTEMS**

*JSC «Television Research Scientific Institute», St. Petersburg,  
prokonicha@mail.ru*

В данной статье рассматриваются состояния применяемых телевизионных комплексов подводного видения. Проведен анализ существующих телевизионных комплексов. Выявлены основные существующие проблемы. Предложены методы и алгоритмы решения данных проблем.

На сегодняшний момент существует множество проблем для решения, которых необходима телевизионная система, способная в кратчайшие сроки обследовать большие участки подводного пространства. 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 существенна, так как человек быстрее усваивает информацию, полученную визуальным путем.

Основной областью применения телевизионных систем являются робототехнические комплексы, это различные АНПА и ТНПА. Специфика применения таких подводных аппаратов такова, что один и тот же аппарат в ходе эксплуатации оказывается в различных условиях. Во время работы робототехнического комплекса может происходить изменение освещенности и прозрачности среды, появление источников дополнительного освещения или помехи обратного рассеивания.

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 настоящее время существует множество подводных телеуправляемых комплексов, которые используются для решения поставленных задач [1-4]. Для анализа проблем, с которыми сталкиваются операторы ТВС подводных аппаратов были использованы данные полученные в ходе эксплуатации ТВС произведенных в АО «НИИ телевидения», результаты соревнований по подводной робототехнике [5], и данные систем, находящихся в свободном доступе.

В ходе анализа собранных данных были получены результаты, проанализировав которые были получены сведения об основных недостатках, применяемых подводных ТВС:

Выбор фотоприемников, установленных в ТВС, редко коллерируется с условиями эксплуатации ТВС.

Расположение источников освещения на подводных аппаратах не обосновано (минимизация помехи обратного рассеивания, избежание засветки и т.д).

Нет способа измерения прозрачности воды, в месте эксплуатации объекта.

Редко применяются цифровые методы увеличения качества получаемого изображения.

Отсутствует возможность автоматической подстройки параметров фотоприемника и осветителя в зависимости от прозрачности воды и степени освещенности.

Результаты данной работы позволяют оценить состояние подводных ТВС, улучшить качество работы уже существующих подводных ТВС за счет их модернизации [6,7] и строить новые ТВС, которые могут работать с одинаковой эффективностью в независимости от условий применения подводных аппаратов. Несмотря на кажущуюся простоту описанных решений, их практическая реализация обусловлена решением целого комплекса весьма сложных технических задач.

1. <https://gnomrov.ru>
2. <https://www.rovbuilder.com>
3. <http://www.tetis-pro.ru>
4. <https://oceanos.ru>
5. <https://fpi.gov.ru/tenders/?stage=closed>
6. Долин, Л.С. Справочник по теории подводного видения. / Л.С Долин, И.М. Левин. - СПб. : Гидрометеоиздат, 1991.–231 с.
7. Лагутин Ю.П. Методика расчета гидрооптической части ТВ системы подводного наблюдения / Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения. 2008, вып. 2., с 76–89.

*А.А. Иванов, О.А. Шмаков*

**РЕКОНФИГУРИРУЕМЫЙ ГИПЕРИЗБЫТОЧНЫЙ  
МОДУЛЬНЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, al\_ivanov@rtc.ru*

*A.A. Ivanov, O.A. Shmakov*

**RECONFIGURABLE HYPER REDUNDANT MODULAR  
UNMANNED UNDERWATER APPARATUS**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, al\_ivanov@rtc.ru*

Область применения необитаемых подводных аппаратов (НПА) постоянно расширяется. НПА выполняют функции дальнего и

ближнего патрулирования, осмотра подводных объектов и манипуляции с ними. Миссия НПА может быть связана с двумя типами операций: перемещение в удалённый пункт и выполнение там осмотровых и/или манипуляционных операций. Требования к необходимым для выполнения операций гидродинамическим качествам НПА существенно отличаются. В первом случае необходимо обеспечить управляемое быстрое перемещение с минимумом энергетических затрат, во втором – маневренность, управляемость и позиционирование. Для реализации отмеченных качеств весьма полезным представляется наделение аппарата свойствами гиперизбыточности и реконфигурируемости.

Понятие гиперизбыточности в робототехнике связано с классификацией роботов-манипуляторов. Так как целевой функцией манипулятора является перемещение захватного устройства в пространстве заданной размерности, при наличии независимых степеней относительной подвижности звеньев манипулятора, число которых более чем на единицу превосходит необходимое для достижения цели, его называют кинематически гиперизбыточным. Гиперизбыточность манипулятора связывают со степенью неоднозначности выбора взаимного расположения звеньев для достижения цели. Для мобильной робототехники понятие гиперизбыточности следует применять при наличии независимых движителей, число которых превосходит необходимое для перемещения в выбранном пространстве. В качестве примера: колёсный робот, предназначенный для перемещения по прямой и имеющий  $N+1$  мотор колесо, является гиперизбыточным. Подводный мобильный робот (подводный обитаемый аппарат) оперирует в пространстве  $SO_3$ , т.е. его положение и ориентация как твёрдого тела задаётся 6-ю координатами. Для реализации произвольного движения необходимо 6 независимых движителей, задающих главный вектор и главный вектор момент управляющих сил. При наличии возможности создавать результирующую силу и пару с помощью большего числа движителей следует говорить о гиперизбыточности мобильного подводного аппарата.

Реконфигурируемость робота может быть связана с возможностью построения вариантов конструкции за счёт сборки робота из целевых модулей, механический, электрический и информационный интерфейс которых обеспечивает объединение в общую структуру, предусматривающую все возможные допустимые варианты соединения.



Второй подход к вопросу реконфигурируемости предполагает возможность изменение формы робота с помощью внутренних приводов как при подготовке к выполнению целевой функции, требующей существенного изменения взаимного расположения модулей, так и при её выполнении.

В докладе обсуждается вариант конструкции модульного НПА, удовлетворяющей сформулированным требованиям.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № НИОКТР АААА-А19-119032690029-6.

*А.А. Иванов*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ  
РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО ГИПЕРИЗБЫТОЧНОГО  
МОДУЛЬНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО  
АППАРАТА ПРИ РЕКОНФИГУРАЦИИ ЖИДКОЙ СРЕДЕ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, al\_ivanov@rtc.ru*

*A.A. Ivanov*

**SIMULATION OF THE MOTION DYNAMICS OF A  
RECONFIGURABLE HYPER-REDUNDANT MODULAR  
UNMANNED UNDERWATER VEHICLE DURING  
RECONFIGURATION IN A LIQUID MEDIUM**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, al\_ivanov@rtc.ru*

Современные программные средства трёхмерного конструирования обеспечивают достоверную оценку геометрических и масс-инерционных характеристик твердотельных моделей. Встраиваемые добавления пакетов 3-D конструирования обеспечивают получение оценок кинематических и динамических характеристик конструируемых механизмов.

Для конструкции подводного аппарата важными геометрическими характеристиками являются объём вытесняемой жидкости и положение центра этого объёма. В конструкции даже необитаемого подводного аппарата присутствуют замкнутые полости, не учитываемые при расчёте объёма деталей. Поэтому для правильной оценки геометрических характеристик вытесняемого объёма должны быть приняты специальные меры.

Наличие в НПА заполненных воздухом герметичных полостей должно быть учтено при моделировании его равновесия и движения в жидкой среде.

В докладе представлены конструкция реконфигурируемого НПА, обладающего свойством изменения формы корпуса без изменения объёма. Описаны приёмы конструирования узлов конструкции НПА в пакете SolidWorks, обеспечивающие оперативную оценку положения центра приложения выталкивающей силы для жёсткого узла.

С помощью инструментов приложения SolidWorks Motion выполнено моделирование поведения погруженного в жидкость НПА при реконфигурации. Получены координаты положения центра масс аппарата и центра вытесняемого объёма жидкости при различных конфигурациях. Оценена динамика движения аппарата в жидкости при выполнении перехода из одной конфигурации в другую.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № НИОКТР АААА-А19-119032690029-6.

***К.С. Артемьев<sup>1</sup>, Е.С. Брискин<sup>1</sup>, В.А. Серов<sup>2</sup>, С.А. Устинов<sup>2</sup>***  
**ОБ УПРАВЛЕНИИ ПОНТОНОМ-ЗАГЛУШКОЙ ПРИ**  
**ГЛУШЕНИИ ПОДВОДНОЙ АВАРИЙНОЙ СКВАЖИНЫ**

*<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет; <sup>2</sup>АО «ФНПЦ  
«Титан-Баррикады», Волгоград, dtm@vstu.ru*

***K.S. Artemyev<sup>1</sup> E.S. Briskin<sup>1</sup>, V.A. Serov<sup>2</sup>, S.A. Ustinov<sup>2</sup>***  
**ON CONTROLLING A PLUG-PONTOON IN SEALING**  
**UNDERWATER EMERGENCY WELLS**

*<sup>1</sup>Volgograd State Technical University; <sup>2</sup>JSC «FSPC «Titan-Barricady»,  
Volgograd, dtm@vstu.ru*

При разработке подводных месторождений углеводородов одной из проблем, периодически возникающей, является аварийное глушение скважин [1, 2]. Используются различные способы решения данной проблемы, в частности метод ожидания и утяжеления, метод бурения, разгрузочные скважины и пр., однако их установка в экстремальных подводных условиях без применения робототехники практически не реализуема [3].

Одним из вариантов решения проблемы является использования якорно-тросовых движителей, способных перемещать платформу-

понтон с небольшой положительной плавучестью (см. рис. 1), описание которых известно [4]. Представлена схема понтона-заглушки с якорно-тросовыми двигателями, указаны возможные способы ее перемещения в жидкой среде при различных конструктивных исполнениях механической системы. Особенность всех способов состоит в том, что при соблюдении определенных соотношений между весом грузов-якорей и весом понтона-заглушки, возможно осуществлять перенос грузов в новое положение.

Задачей подобной роботизированной платформы является перемещение и установка на устье аварийной скважины специальной заглушки.

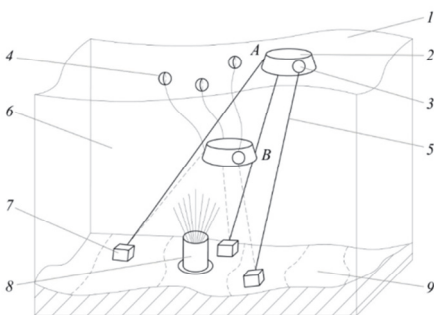


Рисунок 1 – Перемещение понтона-заглушки с положительной плавучестью: 1 – поверхность жидкости, 2 – понтон-заглушка, 3 – двигатель, 4 – поплавок, 5 – трос, 6 – водоем, 7 – якорь, 8 – аварийная скважина, 9 – поверхность дна. А, В – исходное и промежуточное положение платформы-понтон

Математическое моделирование подобных систем связано с зависимостью развиваемых усилий от положения тросов относительно понтона и превышения числа управляющих воздействий над числом степеней свободы системы. Установлено, что задачей управляющей системы является обеспечение необходимого соотношения сил в тросах, идущих от якоря к двигателю.

В соответствии с разработанной математической моделью системы получены законы изменения программных длин тросов и развиваемые в них усилия.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-71-10069.

1. Журавель В.И. Аварийность на морских скважинах. Современное состояние количественной оценки рисков возможных выбросов / В.И. Журавель, И.В. Журавель // Oil and Gas Journal Russia. – 2013. – № 12.
2. Большой справочник инженера нефтегазодобычи. Бурение и заканчивание скважин. Пер. с англ. / под ред. У. Лайонза, Г. Плизга. - СПб.: Профессия, 2009. – 628 с.
3. 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.
4. Управление движением подводного мобильного робота с якорно-тросовыми движителями /Е.С. Брискин, Н.Г. Шаронов, В.А. Серов, И.С. Пеньшин // Робототехника и техническая кибернетика. - Санкт-Петербург 2018. - № 2 (19).

*Е.К. Игнатиади, И.К. Петушок*

### **КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, i.petushok@rtc.ru*

*Е.К. Ignatiadi, I.K. Petushok*

### **THE CONCEPT OF ENVIRONMENTAL MODELING FOR MARINE ROBOTIC SYSTEMS**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Peterburg, i.petushok@rtc.ru*

В настоящее время в Российской Федерации не существует полноценного морского полигона с развитой инфраструктурой [1]. Технологический прорыв в области развития алгоритмов визуализации, программного обеспечения для моделирования 3D-объектов, игровых движков для программирования их полимодального поведения, а также появление новых устройств обратной связи позволяют создавать искусственные среды, не отличимые от физической реальности, а также успешное развитие новых концепций эргономики иммерсивных сред и использование инженерной психологии, являются предпосылками для создания виртуального полигона.

При этом эти полигоны имеют ряд недостатков [2]:

- необходимость привлечения кораблей-носителей робототехнических комплексов (РТК), сил и средств обеспечения;
- необходимость выбора районов испытаний и природно-климатических условий для их проведения;
- сложно проверить изделия во всех эксплуатационных режимах, подобрать необходимые глубины, гидрологические и метеорологические условия, наличие различных объектов на морском дне и т.д.;
- на испытания выходят уже практически готовые образцы изделия и их переделка связана техническими и организационными трудностями;
- невозможно проверить работу изделий в нештатных и аварийных режимах;
- противодействие иностранных технических разведок при проведении испытаний вне территориальных вод Российской Федерации.

Этих недостатков лишен виртуальный полигон с моделированием внешней среды. С целью решения проблемы отладки и раннего тестирования программных компонентов информационно – управляющих систем РТК, производится его сопряжение с имитатором бортового оборудования и имитатором внешней среды.

Для получения информационной картины близкой к реальности необходимо моделирование внешней среды для симулятора РТК и данных, получаемых от бортовых датчиков, - оптических, гидролокаторных, гравиметрических, электромагнитных и т.д.

Модель внешней среды состоит из данных, описывающих подводную обстановку в районе выполнения миссии РТК. Составные части модели среды:

- модели гидросферы с различными параметрами (течение, прозрачность, температура, скорость распространения звука и т.д.)
- полигональная модель рельефа дна (различные типы рельефа и поверхности дна).
- модели статических объектов на дне (природные и созданные человеком).
- модели движущихся объектов (созданные человеком и биологические).

Имитация акустического, оптического и другого оборудования РТК является одной из главных отличительных особенностей виртуального полигона. Целью моделирования среды является получение наглядной картины движения и функционирования РТК в процессе выполнения миссии и отладка методов/алгоритмов навигации

и распознавания объектов подводной обстановки и взаимодействия с ними.

Развитие и многообразие средств визуализации 3-х мерных объектов, совершенствование сред разработки программного обеспечения (ПО), а также возрастающие требования к качеству моделирования реальных объектов, делают актуальной задачу обоснованного выбора средства разработки интерактивных приложений с использованием 3-х мерной графики. На сегодняшний день наибольшую популярность приобрело ПО (Unity3D, Unreal Engine, UNIGINE и т.д.) которое создавалось для разработки игровых программ. Это объясняется не только развитыми у них средствами визуализации, но и интеграцией программ со средствами моделирования физических процессов (механика, гидро – и аэро – динамика и т.д.).

Моделирование внешней среды с применением симулятора РТК, позволит исследовать алгоритмы движения и обработки информации РТК, выполнения ими различных технологических операций, работу систем технического зрения, навигационного ориентирования функционирование гидроакустического, гравиметрического и другого оборудования.

1. Проценюк А.С., Попов А.В Особенности создания морского полигона для проведения испытаний и отработки алгоритмического, математического и программного обеспечения необитаемых подводных аппаратов // Экстремальная робототехника (ЭР-2020). Труды международной научно-технической конференции. С.-Петербург: ООО «Гангут», 2020. С 161-163

2. Игнатиади Е.К. Петушок И.К. Виртуальный полигон для морских робототехнических средств // доклад / XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективные системы и задачи управления» п. Домбай, Карачаево-Черкесская республика, 2021. С 18

*С.С. Кавтрев, М.Н. Плавинский, Е.Ю. Смирнова, Н.А. Щур*  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ  
РАБОТЫ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ  
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ В СЛОЖНО-  
СТРУКТУРИРОВАННОМ ОКРУЖЕНИИ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, s.kavtrev@rtc.ru*

*S.S. Kavtrev, M.N. Plavinskiy, E.Y. Smirnova, N.A. Tschur*  
**INVESTIGATION OF WAYS TO IMPROVE THE ROV'S  
OPERATIONS SAFETY IN A COMPLEXLY STRUCTURED  
ENVIRONMENT**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, s.kavtrev@rtc.ru*

Постоянный рост объемов освоения ресурсов Мирового океана влечет за собой увеличение количества подводных инженерных объектов, требующих проведения регулярных осмотровых, обслуживающих и ремонтных мероприятий [1]. В связи с этим становится все более актуальной проблема повышения экономической эффективности и сокращение сроков выполнения подводных работ. Распространенным решением в настоящее время является применение телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) [2].

При этом работа в зонах размещения подводных конструкций имеет ряд ограничивающих факторов: работа может быть затруднена ограниченным пространством, наличием препятствий для передвижения (элементов конструкций), областей недостаточной видимости, возможным наличием внешних воздействий, таких как течения. В связи с этим возрастает опасность повреждения как элементов конструкции подводных сооружений, так и самого аппарата. Особую опасность может представлять собой в визуальном и гидроакустическом позиционировании ТНПА относительно положения водолаза при проведении водолазных спусков совместно с ТНПА [3].

В качестве одного из возможных вариантов минимизации данных рисков предлагается концепт кинематически и кибернетически избыточного ТНПА с детально проработанной динамикой, система управления которого включает элементы искусственного интеллекта и систему помощи оператору. Такой аппарат будет иметь автоматы удержания курса, крена и дифферента, режимы движения на заданной глубине, движение в режиме удержания отстояния от

грунта (дна), обладать системами автоматического обхода препятствий и недопущения столкновений.

1. Федеральный закон от 21.07.1997 N 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».

2. Ляхов Д.Г., Смирнов С.В., Чудаков М.И. О применении необитаемых подводных аппаратов в морской нетегазодобывающей отрасли // Подводные исследования и робототехника. 2013. № 1. С. 23–32.

3. Приказ Минтруда России от 17.12.2020 N 922н «Об утверждении Правил по охране труда при проведении водолазных работ»

*Д.А. Галкина*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО  
НАДВОДНОГО АППАРАТА С ЦЕЛЬЮ ОПЕРАТИВНОГО  
ВЫЯВЛЕНИЯ ВОДНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

*Университет ИТМО, Санкт-Петербург, darja.galkina@gmail.com*

*D.A. Galkina*

**THE USAGE OF AN AUTONOMOUS UNINHABITED SURFACE  
VEHICLE IN ORDER TO FASTEN IDENTIFICATION OF THE  
WATER POLLUTION**

*ITMO University, St. Petersburg, darja.galkina@gmail.com*

В связи с экологической катастрофой, произошедшей осенью прошлого года на Дальнем Востоке, значительно возрос интерес к исследованиям в области выявления и борьбы с загрязнениями водоемов различной природы и степени тяжести. Помимо этого, в соответствии с частью послания президента РФ, затрагивающей вопросы экологии, актуальной и важной являются мероприятия, нацеленные на формирование полноценной системы экологического мониторинга качества как воздуха и почвы, так и воды [1].

На сегодняшний день можно выделить несколько наиболее известных методов мониторинга состояния водных объектов, а именно: наземное наблюдение, биоиндикация, заключающаяся в наблюдении за состоянием флоры и фауны вблизи водоема, а также отбор проб воды [2]. Однако, все вышеперечисленные методы имеют ряд недостатков, среди которых можно выделить стационарность и



невысокую разрешающую способность средств мониторинга при наземном наблюдении, низкую скорость выявления проблемы при биоиндикации и отборе проб.

С целью повышения оперативности обнаружения водных загрязнений на раннем этапе их развития с дальнейшей автоматической сигнализацией вышестоящим инстанциям было решено использовать автономный необитаемый надводный аппарат (АННА), курсирующий по акватории. Для корректной работы аппарат предлагается оснастить датчиком степени загрязненности воды, лидаром, ИНС для прохода под мостами, предварительно загруженной картой исследуемой местности, а также обеспечить подключение к системе GPS. Для большей надежности предлагается выполнять корпус АННА в форме катамаран, что объясняется меньшей амплитудой качки и большой начальной устойчивостью.

Для синтеза системы управления разрабатываемым аппаратом предлагается использовать метод последовательного компенсатора для нелинейных систем в условиях неучтенной динамики [3], относящийся к синтезу систем адаптивного управления.

Реализация данного проекта позволит достигнуть снижения себестоимости работ по обнаружению загрязнений, например, таких как: нефтяные пятна, некорректный вывод сточных вод, промышленные отходы, атмосферные загрязнения. Что в свою очередь позволит сократить финансовые и временные издержки на выполнение работ по их устранению в будущем, так как с наибольшей вероятностью загрязнение будет найдено на ранней стадии развития.

1. Послание Президента Федеральному Собранию 2021.
2. Д.А. Мидоренко, В.С. Краснов, Мониторинг водных ресурсов: Учеб. Пособие // Тверь: Тверской государственный университет. 2009. С. – 50–57.
3. А.А. Бобцов, А.А. Капитонов, Н.А. Николаев, Управление по выходу нелинейными системами с неучтенной динамикой // Автоматика и телемеханика. 2010. № 12. С. 3–10.

**СЕМИНАР «РОБОТИЗАЦИЯ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ»**

---

***А.А. Жеребцов, Ю.С. Мочалов, А.Ю. Шадрин***  
**ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКИ В**  
**ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ**

*АО «Прорыв», Москва, zhala@proryv2020.ru*

***A.A. Zherebtsov, Yu.S. Mochalov, A.Yu. Shadrin***  
**ROBOTIC TRENDS IN THE NUCLEAR FUEL CYCLE**

*JSC «Proryv», Moscow, zhala@proryv2020.ru*

Применение робототехники в ядерной отрасли обусловлено наличием радиации, присутствующей на всех этапах ядерного топливного цикла, особенно на заключительной его части. Высокие радиационные поля, с которыми сталкивается переработка отработавшего ядерного топлива и обращение с радиоактивными отходами, исключают возможность любого контакта оператора производственных установок с технологической средой. Традиционно дистанционирование оператора от технологической среды осуществлялось за счет применения манипуляторов.

Современные требования к безопасности и экономичности производства, стабильности качества продукции обуславливают постепенное замещение ручного труда операторов горячих камер на автоматизированные средства в связи с необходимостью:

- снижения профессиональных рисков, связанных с облучением ионизирующим излучением, воздействием токсичных химических веществ и пр.
- снижения травматизма на рабочем месте, вызванного плохими эргономическими условиями или характером физической рабочей среды.
- выполнения задач, которые требовательны к точности выполнения циклических операций.

Это значит, что все действия, связанные с работой и обслуживанием технологического оборудования, должен совершать робот, специально предназначенный для этих работ. Конструкция и используемые материалы (уплотнения, смазочные материалы, изоляция и пр.) этих роботов должны выдерживать воздействие радиационных полей от  $1 \cdot 10^{-1}$  Гр/ч характерных для изготовления уран-плутониевого топлива до  $1 \cdot 10^4$  Гр/ч на операциях отверждения ВАО.

Примеры применения роботов в разных странах показывает, что единого подхода в конструкции роботов не существует – в настоящее время разрабатываются конструкции от многофункциональных биоморфных робототехнических комплексов (США, Япония) до радиационноустойчивых промышленных роботов (Великобритания, РФ).

В рамках проектного направления «Прорыв» предполагается выполнить комплекс мероприятий до 2030 года по разработке и обоснованию многофункциональных радиационноустойчивых робототехнических комплексов отвечающих всем требованиям для использования в замкнутом ядерном топливном цикле.

*И.Ю. Далаев, А.А. Трутс, А.А. Шавликов*  
**РОБОТИЗАЦИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТАНОВКИ  
ОСТЕКЛЫВАНИЯ ВАО**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, igor@rtc.ru*

*I.Yu. Dalyaev, A.A. Truts, A.A. Shavlikov*  
**ROBOTIC SERVICE OF HIGH-LEVEL WASTE GLAZING  
PLANT**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetic,  
St. Petersburg, igor@rtc.ru*

Выполнение работ в рамках технологических операций замкнутого ядерного топливного цикла промышленного энергокомплекса неизбежно сопряжено с воздействиями ряда внешних факторов, которые оказывают существенное влияние на технологический процесс. Так, участие человека необходимо минимизировать, включать в техпроцесс механизированные и электромеханические системы. При создании безлюдной технологии, на первый план выходит вопрос автоматизации технологических процессов, решающих транспортные, сервисные, инспекционные задачи. Практически все операции связаны с высоким уровнем ионизирующего излучения, а современные тенденции диктуют требования по повышению безопасности труда и снижению количества вредных факторов. В этой связи применение робототехнических систем является крайне актуальной задачей.

На примере участка по переработке отработавшего ядерного топлива и остекловыванию высокоактивных отходов методом

ИПХТ, разработанного специалистами АО «ВНИИНМ», рассматриваются подходы по роботизации обслуживания технологических операций. Все возможные операции предлагается осуществлять с помощью манипуляционной системы, оснащенной сменным инструментом.

В работе проведен анализ текущего техпроцесса работы данного участка, выданы предложения по оптимизации выполнения отдельных операций, даны рекомендации по дооснащению участка. По результатам испытаний демонстрационного стенда сформулированы предложения по автоматизации участка остекловывания с учетом факторов среды, имеющих место на реальной установке, и с учетом результатов, полученных в результате испытаний макета.

*И.Ю. Даляев, В.М. Копылов*

## **ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ПИРОХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, igor@rtc.ru*

*I.Yu. Dalyaev, V.M. Kopylov*

## **ROBOTIC SERVICE OF PYROCHEMICAL EQUIPMENT**

*The Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetic,  
St. Petersburg, igor@rtc.ru*

По мере выработки топлива на атомных станциях, отработанное ядерное топливо (ОЯТ) изымается из активной зоны реактора, после чего возникает глобальная проблема по его переработке и организации хранилищ радиоактивных отходов. Таким образом, актуальной проблемой, в связи с подготовкой к промышленному внедрению замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) в России, является разработка эффективной и безопасной технологии промышленной переработки ОЯТ.

Переработка ОЯТ реакторов представляет собой важную задачу, имеющее экономическое и экологическое значение. Решение данной задачи связано с большим количеством химических и механических процессов, требующих обращения с веществами высокой степени вредности. В связи с этим, актуальной становится проблема организовать процесс таким образом, чтобы исключить участие человека в нём, т.е. реализовать безлюдную технологию. Одним из этапов переработки является пирохимический передел, оборудова-

ние которого работает в специальной атмосфере инертных камер и характеризуется высоким уровнем ионизирующего излучения.

Технологический процесс пирохимического передела подразумевает передачу материала из одного аппарата в другой, а также обслуживание (включая замену блоков) самих аппаратов.

С целью уменьшения объема инертной среды предлагается весь пирохимический передел разделить на четыре инертные камеры, внутри которых расположить все оборудование. Обслуживание оборудования будет производиться посредством технологического (внутрикамерного) манипулятора с вынесенными приводами, чтобы обеспечить высокую радиационную стойкость принимаемых технических решений. Манипулятор обладает грузоподъемностью до 150 кг, при этом его сервисная зона перекрывает практически весь объем инертной камеры. Манипулятор проектируется под условия работы с уровнем ионизирующего излучения до 50 Мрад/год в течение 30 лет.

Для передачи материала между инертными камерами, а также в целях обслуживания приводной части внутрикамерного манипулятора, предлагается создать межмодульную транспортную систему, в состав которой будет входить отдельный манипулятор на линейной направляющей с магазином сменного инструмента и специализированными контейнерами для перевозки материала. Манипулятор для межмодульной транспортной платформы может быть менее радиационно-стойким, нежели внутрикамерный, а также обладать большей ремонтпригодностью, т.к. для его обслуживания не требуется разгерметизация инертной камеры.

*И.Ю. Даляев, А.Н. Белозуб, А.А. Шавликов*  
**СПОСОБЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ СОРТИРОВКЕ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, igor@rtc.ru*

*I.Yu. Dalyaev, A.N. Belozub, A.A. Shavlikov*  
**AUTOMATION METHODS FOR RADIOACTIVE WASTE  
SORTING**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetic,  
St. Petersburg, igor@rtc.ru*

Радиоактивные отходы (РАО) - не подлежащие дальнейшему использованию материалы и вещества, а также оборудование, изде-

лия (в том числе обработавшие источники ионизирующего излучения), содержание радионуклидов в которых превышает требуемые уровни. К РАО относятся выработавшие свой ресурс ядерные реакторы, ускорители, оборудование радиохимических предприятий, лабораторий, а также другие материалы, не востребованные в дальнейшем и имеющие в своем составе радионуклиды. Так или иначе, РАО образуются на всех стадиях ядерного топливного цикла (ЯТЦ), от добычи и переработки урановой руды, до вывода из эксплуатации ядерных радиационно-опасных объектов (ЯРОО). Очевидно, что безопасное и экономически эффективное обращение с РАО, является одним из ключевых компонентов атомной промышленности.

При функционировании предприятия ЯТЦ образующиеся отходы подлежат регламентированной переработке и кондиционированию в зависимости от их вида. Сбор и переработка отходов происходит согласно требованиям нормативной документации. Несомненно иначе может обстоять дело при выводе из эксплуатации (ВЭ). Основными особенностям потока РАО от ВЭ можно обозначить:

- образование РАО в относительно короткий период работ;
- объемы, многократно превышающие образование РАО в ходе эксплуатации;
- большая доля загрязненного металла и строительных конструкций, в том числе крупногабаритных изделий и загрязненного грунта;
- широкая номенклатура отходов, в том числе по составу и агрегатному состоянию, существенно отличающаяся от образующихся при эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ).

В этом случае, обращение с РАО становится принципиально большим, трудоемким и важным этапом работ, для выполнения которого необходимы автоматические устройства большой производительности. Также становятся необходимы устройства, позволяющие автоматически сортировать отходы, поступающие от демонтажа, с целью отделения нерадиоактивных составляющих, которые можно отнести к освобожденным от контроля, либо с целью отделения наиболее радиотоксичных составляющих для перевода основного объема РАО в другой класс.

Возникает необходимость создать роботизированные установки, способные сортировать РАО по морфологическому составу и уровню активности. Для решения этих задач необходимо использовать различные подходы по автоматизации с использованием манипуляционных систем, а также применять систему технического зрения

(СТЗ) для автоматического захвата произвольных объектов. Не обойтись и без специальных детекторов, для определения уровня ионизирующего излучения либо его спектра, чтобы правильно произвести последующую сортировку с сохранением экономической целесообразности. В большинстве случаев видится возможным уменьшить общий объем РАО, эффективнее отправлять определенные объекты на последующую переработку.

В рамках решения данной задачи предлагается объединить работу манипуляционных систем и СТЗ в единый алгоритм, который позволит производить точечный захват элементов РАО с определением их морфологии и соответствующего соотношения по группам в автоматическом режиме, при этом интеграция в систему блоков детектирования позволит производить эффективную сортировку РАО.

*С.В. Голубев, И.К. Сухарев*

**ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

*АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, golubevsv@okbm.nnov.ru*

*S.V. Golubev, I.K. Sukharev*

**PROSPECTS FOR ROBOTIZATION OF PRODUCTION  
PROCESSES IN THE MANUFACTURE OF EQUIPMENT  
FOR NUCLEAR POWER INDUSTRY**

*JSC «Afrikantov OKBM», Nizhny Novgorod, golubevsv@okbm.nnov.ru*

Учитывая увеличение объемов производства, актуальным становится вопрос автоматизации многих производственных процессов для увеличения объемов производства без увеличения численности производственного персонала. Одним из вариантов автоматизации производственных процессов является применение роботов и роботизированных комплексов.

Основные преимущества применения роботов:

- точность и повторяемость обработки (до 0,1 мм) даже при непрерывной работе, исключение «человеческого фактора» при появлении несоответствующей продукции;
- быстрая перенастройка для выполнения разных процессов обработки;
- короткий срок окупаемости, так как робот заменяет нескольких рабочих (с учетом многосменной работы), и может работать

круглосуточно;

- безопасность: роботизация производственных процессов снижает производственный травматизм, повышает точность и позволяет работать в непосредственной близости от опасного оборудования;
- универсальность позволяет устанавливать роботов на любом участке производства и, при необходимости, перемещать с одной операции на другую;
- исключение простоев по причине отпуска или болезни персонала, возможность работы даже в условиях карантина.

Наиболее эффективным является процесс встраивания роботов и роботизированных комплексов в уже используемые, часто уникальные технологии изготовления изделий для атомной промышленности. Это позволит сохранить общий цикл изготовления изделий, не прерываясь на переналадку производства и освоение новых технологических процессов. При этом производительность и качество изготовления продукции будут расти.

***И.О. Вторушин<sup>1</sup>, И.Ф. Гуцин<sup>2</sup>, С.А. Косарев<sup>1</sup>, В.В. Левщанов<sup>2</sup>,  
А.Н. Лещинский<sup>2</sup>, В.В. Приходько<sup>2</sup>, В.В. Сапунов<sup>2</sup>,  
В.В. Светухин<sup>3</sup>, А.Н. Фомин<sup>2</sup>, Е.М. Чавкин<sup>2</sup>***

### **РОБОТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТРУБОПРОВОДОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНЫХ СРЕД**

<sup>1</sup>АО «ГНЦ РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований», г. Троицк; <sup>2</sup>Научно-исследовательский технологический институт им. С.П. Капицы Ульяновского государственного университета, г. Ульяновск; <sup>3</sup>НИПК «Технологический центр», Москва, kosarev@triniti.ru, vp@ulsu.tech, svetukhin@mail.ru

***I.O. Vtorushin<sup>1</sup>, I.F. Guschin<sup>2</sup>, S.A. Kosarev<sup>1</sup>, V.V. Levschanov<sup>2</sup>,  
A.N. Leschinskiy<sup>2</sup>, V.V. Prikhodko<sup>2</sup>, V.V. Sapunov<sup>2</sup>, V.V. Svetukhin<sup>3</sup>,  
A.N. Fomin<sup>2</sup>, E.M. Chavkin<sup>2</sup>***

### **ROBOTS FOR PROCESSING SMALL DIAMETER PIPELINES IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS**

<sup>1</sup>TRINITY JSC, Troitsk; <sup>2</sup>S.P. Kapitsa Research Institute of Technology of Ulyanovsk State University, Ulyanovsk; <sup>3</sup>SMC «Technological Center», Zelenograd, Moscow, kosarev@triniti.ru, vp@ulsu.tech, svetukhin@mail.ru

Внутрикорпусные роботы широко используются при обслуживании трубопроводов среднего и большого диаметров в различных отраслях промышленности и народного хозяйства: нефте-газовая



промышленность, водоснабжение, химическая и атомная отрасли, пр. Среди задач, решаемых подобными системами, наиболее распространенными являются следующие:

- телеинспекция;
- заделка (шпаклевание);
- фрезерование.

Проведенный анализ существующих внутрикорпусных робототехнических решений позволил сделать следующие выводы:

- несмотря на обилие возможных конструкций (классификация внутрикорпусных роботов приведена, например, в [1, 2]), в случае труб малого диаметра (1-3 см) большинство представленных в литературе решений являются либо нереализуемыми, либо приводят к неоправданному повышению себестоимости робота.

- отсутствуют решения, предназначенные для работы в условиях агрессивной среды: высокого уровня ионизирующего излучения, химически-активных сред, широкого диапазона температур и влажности.

Коллективом авторов разработан и исследован ряд конструкций робототехнических систем, предназначенных для прохождения труб малого диаметра и обработки их внутренней поверхности механическим и химическим способами с использованием специализированного прицепляемого оборудования. При разработке принимались во внимание следующие требования:

- функционирование в условиях воздействия химически-активной среды и ионизирующих излучений;
- устойчивость при воздействии пыли и высокой влажности;
- возможность оперативного изменения эксплуатационных характеристик (скорости движения, тягового усилия);
- простота управления роботом;
- высокая отказоустойчивость;
- низкая себестоимость робота;
- простота утилизации после окончания срока эксплуатации.

Наиболее перспективными для исследований типами конструкций были признаны следующие:

- робот растягивающегося типа (в зарубежной терминологии – «Inchworm»);
- робот с колесным движителем на основе червячной редукторной передачи;
- робот с шнекороторным движителем;
- робот с вибрационно-ресничным движителем.

В работе приводится описание особенностей нескольких из предложенных конструкций внутрикорпусных решений, анализ преимуществ и недостатков, результаты прочностных расчетов, оценки тяговых характеристик и стойкости к агрессивным средам.

1. S.G. Roh and H.R. Choi. Differential-drive in-pipe robot for moving inside urban gas pipelines,” in IEEE Transactions on Robotics, vol. 21, no. 1, February 2005, pp. 1-17.

2. Е.В. Поезжаева, А.Г. Федотов, П.В. Заглядов. Разработка робота для контроля трубопроводов // Молодой ученый, 2015, № 16 (96), с. 218-222.

*И.В. Войнов, Б.А. Морозов, М.В. Носиков*  
**СДВОЕННАЯ РАДИАЦИОННО-СТОЙКАЯ  
МАНИПУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЗАЩИЩЕННЫХ  
КАМЕР**

*Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Миасс, Челябинская обл.,  
voinoviv@susu.ru, morozovba@susu.ru, nosikovmv@susu.ru*

*I.V. Voinov, B.A. Morozov, M.V. Nosikov*  
**DUAL-ARM RADIATION-PROOF MANIPULATOR SYSTEM  
FOR HOT CELLS**

*Miass branch of South Ural State University (National Research University),  
Miass, voinoviv@susu.ru, morozovba@susu.ru, nosikovmv@susu.ru*

В настоящее время на предприятиях Госкорпорации «Росатом» при проведении лабораторных исследований и в производственном цикле широко используются механические и электромеханические манипуляторы типа М-22, МЭМ-10 и аналогичные. Проблемы их эксплуатации заключаются в износе существующих образцов, прекращении выпуска отдельных компонентов манипуляторов, отсутствии режимов автоматического управления.

Используя опыт разработки и внедрения радиационно-стойкого манипулятора для герметичных камер «МР-48» [1, 2], филиалом ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Миассе в рамках опытно-конструкторской работы спроектирована и изготовлена внутрикамерная радиационно-стойкая манипуляционная система на базе двух манипуляторов «МР-64» с шестью вращательными степенями свободы. В состав системы, помимо манипуляторов, входят 2 пуль-

та управления с промышленными встраиваемыми персональными компьютерами, 2 многокоординатных задающих органа (джойстика) с пропорциональными и дискретными выходными информационными каналами.

Введение в состав системы управления многокоординатных задающих органов дельта-типа позволяет оператору осуществлять управление каждым из манипуляторов одной рукой (в отличие от манипулятора «MP-48», где управление осуществлялось двумя задающими органами).

В системе реализованы следующие режимы управления:

а) управление одной или несколькими вращательными степенями подвижности манипулятора по угловой скорости в автоматизированном режиме;

б) управление скоростью линейного перемещения схвата манипуляторов декартовой системе координат, начальное положение и ориентация которой может быть связана с основанием или схватом манипулятора;

в) режимы автоматической записи и воспроизведения траектории движения, определяемой узловыми точками, фиксируемыми автоматически системой управления (с заданными периодом), либо по команде оператора.

В рамках работы определен состав функциональных программных модулей системы управления, сформирована структура их информационного взаимодействия, реализованы протоколы обмена с локальными системами управления и системами верхнего уровня.

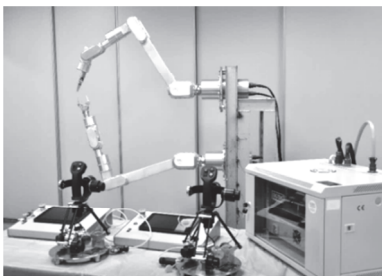


Рисунок 1 – Общий вид двоенной манипуляционной системы, пультов управления, многокоординатных задающих органов

Применение операционной системы класса Linux, библиотек и утилит программного обеспечения Robotic Operating System (ROS) и ряда сервисных IT-технологий позволило построить эффективный программный комплекс системы управления с подсистемой

визуализации. Для программной части системы определены задачи ее перспективного развития в части математического моделирования и программной реализации движения манипуляторов для выполнения технологических операций синхронно двумя манипуляторами.

На рисунке 1 приведен внешний вид сдвоенной манипуляционной системы, пультов управления и многокоординатных задающих органов.

1. Robot-Manipulator MR-48 for Nuclear Industry / I.V. Voinov, A.M. Kazantsev, M.V. Nosikov // Proceedings of the ICIEAM Conference, Moscow, 2018, pp. 1 – 6, DOI: 10.1109/ICIEAM.2018.8729125.

2. Радиационно-стойкие манипуляторы и методы расширения их функциональных возможностей / И.В. Войнов, А.М. Казанцев, Б.А. Морозов, М.В. Носиков // Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции: труды 29-й Международной научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 07–08 июня 2018 г.). – СПб.: ООО «Политехника Сервис», 2018. – С. 114–125.

*М.В. Ремизов*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАММА-ВИЗОРА ДЛЯ РАЗВЕДКИ ЗОН С ВЫСОКИМ РАДИАЦИОННЫМ ЗАРАЖЕНИЕМ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, m.remizov@rtc.ru*

*M.V. Remizov*

## **USING A GAMMA VISOR FOR RECONNAISSANCE OF AREAS WITH HIGH RADIATION CONTAMINATION**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetic,  
St. Petersburg, m.remizov@rtc.ru*

В настоящее время наблюдается активное распространение технологий дополненной реальности и технического зрения, вызванное современным уровнем развития аппаратно-вычислительных комплексов. Применение подобных технологий в сфере задач радиационной разведки позволило бы упростить выполнение оперативных задач. Уже существует класс приборов для визуализации и определения местоположения источников гамма-излучения.

Дополненная реальность – одна из многих технологий взаимодействия человека и компьютера. Ее специфика заключается в том,

что она программным образом визуально совмещает два изначально независимых пространства: мир реальных объектов вокруг нас и виртуальный мир, воссозданный на компьютере. Новая виртуальная среда образуется путем наложения запрограммированных виртуальных объектов поверх видеосигнала с камеры.

Дополненная реальность уже много лет используется в медицине, в рекламной отрасли, в военных технологиях, в играх, для мониторинга объектов и в мобильных устройствах.

Используя методы технического зрения позволят вычленять отдельные объекты в изображения, а технология дополненной реальности даст возможность отображать местоположение гамма-источника и его интенсивность. Предлагается разработать алгоритм, благодаря которому можно будет не просто обнаружить направление на источник гамма-излучения, но и определить какой объект является этим источником. Определение методами технического зрения расстояние до него, даст возможность оценить активность данного источника.

Совместное применение гамма-визора и роботизированных платформ позволит как упростить выполнение оперативных задач, а также решать более сложные проблемы, такие как проведение радиационной разведки, как на больших расстояниях, так и в местах, недоступных для разведки другими способами, в том числе человеком, при этом составляя карту зараженной местности, тем самым повысив автономность ведения радиационной разведки.

*М.В. Ремизов*

**ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА НЕЙТРОННОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, m.remizov@rtc.ru*

*M.V. Remizov*

**APPLICATION OF A ROBOTIC SYSTEM FOR RADIATION  
MONITORING OF NEUTRON RADIATION AT RADIATION-  
HAZARDOUS FACILITIES**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetic,  
St. Petersburg, m.remizov@rtc.ru*

Развитие ядерной энергетики и увеличение количества установок, работающих на ядерном топливе, привело к необходимости

регистрации и мониторингу не только ионизирующего излучения, но и нейтронного, что осложняется в чрезвычайных ситуациях из-за высокого радиационного фона.

Развитие робототехники и материалов позволяет проводить автономный радиационный мониторинг в области с высоким уровнем излучения. Установка системы детектирования потока нейтронов на роботизированные платформы позволит проводить радиационную разведку и мониторинг в местах повышенного нейтронного излучения.

*М.В. Ремизов*

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, m.remizov@rtc.ru*

*M.V. Remizov*

### **THE USE OF LIQUID SCINTILLATORS FOR REGISTRATION OF NEUTRON RADIATION**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetic,  
St. Petersburg, m.remizov@rtc.ru*

За последнее время произошло развитие систем детектирования радиоактивного излучения, что позволило решать задачи по детектированию излучения, однако появилась потребность не только определять наличие радиоактивного излучения, но и проводить его спектрометрических анализ. Существует множество методов для регистрации ионизирующих частиц, при этом в области получения спектра нейтронного излучения есть трудности, вызванные отсутствием у нейтрона заряда и специфичным взаимодействием нейтронного потока с материей.

При этом измерение энергетического спектра нейтронных потоков различных источников нейтронного излучения является важной проблемой для обеспечения радиационной безопасности ядерных объектов. При проектировании и управлении ядерными реакторами, и для расчёта амбиентного эквивалента поглощённой дозы нейтронного излучения необходимо знать не только интегральную плотность воздействующих нейтронных потоков, но и их энергетический спектр, т.е. распределение плотности потока по энергии нейтронов.

В настоящее время для определения спектра нейтронов применяется так называемый метод сфер Боннера, при котором задействуется

массив детекторов с разной конструкцией замедлителя, а основным недостатком такого метода является малая дискретизация диапазона энергий, определяемая набором замедлителей нейтронов.

Для решения данной задачи предлагается использовать детекторы на основе жидких сцинтилляторов (ЖД). ЖД состоят из большого количества углерода и водорода, что позволит использовать их для детектирования быстрых нейтронов, а возможность добавления различных добавок, позволит детектировать тепловые нейтроны.

Главными достоинствами жидких сцинтилляторов можно считать: повышенную радиационную стойкость, возможность создавать детекторы разного объема и состава для более точного решения конкретных оперативных задач, а также широкий спектр возможностей по идентификации частиц и регистрации различных типов излучения.

Использование детектора, на основе ЖД, решает проблему регистрации спектра нейтронного излучения, при этом позволит упростить и удешевить метод нейтронной спектromетрии.

*О.С. Матвеевко<sup>1,2</sup>, С.А. Гамкредидзе<sup>1</sup>, А.С. Бугаев<sup>1</sup>, Д.Л. Гнатюк<sup>1</sup>,  
Н.К. Зенченко<sup>1,2</sup>, А.В. Зуев<sup>1</sup>, А.О. Михалев<sup>1,2</sup>, А.Ю. Павлов<sup>1,2</sup>,  
Д.В. Лаврухин<sup>1</sup>, Ю.В. Федоров<sup>1</sup>, П.П. Мальцев<sup>1,2</sup>*

**РАДИАЦИОННОСТОЙКИЕ МОНОЛИТНЫЕ  
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДА  
ГАЛЛИЯ ДЛЯ РЛС ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ  
K-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ**

*<sup>1</sup>ИСВЧПЭ РАН, Москва; <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, unicfive@ya.ru, unicfive@ya.ru*

*O.S. Matveenk<sup>1,2</sup>, S.A. Gamkrelidze<sup>1</sup>, A.S. Bugaev<sup>1</sup>, D.L. Gnatyuk<sup>1</sup>,  
N.K. Zenchenko<sup>1,2</sup>, A.V. Zuev<sup>1</sup>, A.O. Mihalev<sup>1,2</sup>, A.Y. Pavlov<sup>1,2</sup>,  
D.V. Lavruhin<sup>1</sup>, Y.V. Fedorov<sup>1</sup>, P.P. Malcev<sup>1,2</sup>*

**RADIATION-RESISTANT K-BAND GALLIUM NITRIDE  
MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS FOR EXTREME  
ROBOTICS RADAR**

*<sup>1</sup>V.G. Mokerov Institute of Ultra High Frequency Semiconductor Electronics of  
RAS, Moscow; <sup>2</sup>MIREA - Russian Technological University, Moscow,  
unicfive@ya.ru, unicfive@ya.ru*

В ИСВЧПЭ РАН разработан и изготовлен комплект СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) K-диапазона частот, на основе

которых может быть реализован приемо-передающий тракт (ППТ) радиолокационных станций (РЛС). В комплект МИС входит генератор управляемый напряжением (ГУН) и преобразователь сигнала (ПрС).

МИС ГУН и МИС ПрС изготовлены на основе отечественных гетероструктур НЕМТ GaN на подложках сапфира, и реализованы в копланарном исполнении. Размеры МИС ГУН и ПрС составляют  $1,6 \times 1,9$  мм<sup>2</sup> и  $1,6 \times 2,8$  мм<sup>2</sup> соответственно. Изготовленные образцы кристаллов ГУН и ПрС выдержали испытания на воздействие факторов космического пространства: тяжелых заряженных частиц и нейтронов.

На основе полученных МИС были собраны макеты экспериментальных образцов ППТ. Функциональная схема ППТ представлена на рисунке 1. Образец ППТ состоит из двух отдельных кристаллов, установленных на плату, с выводами ВЧ сигналов на приемную и передающую антенны. МИС ПрС имеет в своем составе усилитель входного ВЧ сигнала, балансный смеситель на основе моста Маршанда, усилитель сигнала внешнего гетеродина. Усиленный сигнал гетеродина разделяется между входом смесителя и выходом ВЧ. На выходе смесителя формируется сигнал на разностной частоте.

Реализованы несколько вариантов монтажа кристаллов: методом приклейки и разварки на плату Rogers, монтаж в герметичные корпуса типа QFN и монтаж на алюмооксидные платы методом перевернутого монтажа (flip-chip).

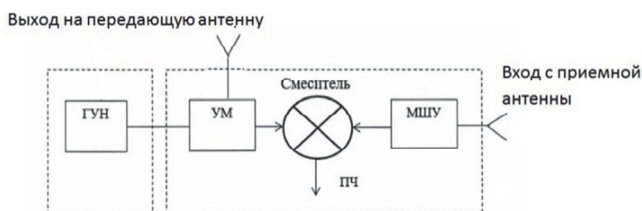


Рисунок 1 – Функциональная схема ППТ. Пунктирная линия обозначает границы МИС

К настоящему времени исследованы в радиолокационном режиме с имитацией принимаемого сигнала от препятствия экспериментальные образцы макетов ППТ на алюмооксидных платах в количестве 5 шт. и на платах Rogers в количестве 3 шт. Испытания в радиолокационном режиме проводились в НИУ МИЭТ. Лучшие результаты продемонстрировали образцы на алюмооксидных платах: для них оказалось возможным выделить сигнал от препятствия



на расстоянии от 5 до 10 м. Образцы, установленные на платы Rogers, смогли выделить сигнал с расстояния не более 0,6 м. Мы полагаем, что это может быть связано с недостаточной развязкой ВЧ сигналов на плате. Подтверждает это предположение дополнительный эксперимент, проведенный с образцами МИС, разваренными на две отдельные платы Rogers, с использованием внешнего делителя мощности сигнала гетеродина. В ходе эксперимента дальность обнаружения препятствия возросла до 7-8 м. В настоящее время готовится исследование макетов ППТ с применением корпусированных МИС. С точки зрения практического использования именно корпусированный вариант исполнения МИС является наиболее удобным для потенциальных потребителей.

Параметры МИС и макетов ППТ зависят от способа монтажа, особенностей использованных гетероструктур и технологического маршрута изготовления. Поскольку в исследованиях участвовали кристаллы, полученные с нескольких опытных пластин, изготовленных по разным экспериментальным технологическим маршрутам, наблюдается следующий разброс параметров. Выходные частоты лежат в пределах от 18 ГГц до 25 ГГц, диапазон перестройки ГУН составляет 0,5-1,2 ГГц при изменении управляющего напряжения до 5 - 8 В. Выходная мощность ВЧ сигнала в непрерывном режиме составляет 10 – 16 дБм, Суммарный ток потребления находится в пределах 140 – 200 мА при напряжении питания 8 – 10 В. Возможна работа при напряжении питания от 5 – 6 В за счет соответствующего уменьшения выходной мощности.

Авторы выражают благодарность НИУ МИЭТ за проведение испытаний ППМ в радиолокационном режиме.

## **СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

32-й Международной научно-технической конференции

## **ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

2-4 июня 2021 года, Санкт-Петербург

## **ABSTRACTS**

of the 32<sup>nd</sup> International Scientific and Technological Conference

## **EXTREME ROBOTICS**

June 2-4, 2021, Saint Petersburg, Russia

Подписано в печать 24.05.2021

Формат А5. Печать – цифровая. Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «РА ФОРТУНА» с оригинал-макета заказчика

## 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 научно-исследовательской и конструкторско-технологической 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 design engineering base, unique testing facilities and pilot production.

## ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



## SUPPORTED BY



*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»

